

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zkušební zařízení pro detekci netěsností

Test Equipment for Leakage Detection

Student:

Bc. Daniel Woron

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Ostrava 2017

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Daniel Woroně**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **2302T043 Hydraulika a pneumatika**
Téma: **Zkušební zařízení pro detekci netěsností
Test Equipment for Leakage Detection**

Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

Navrhnete zařízení pro kontrolu bloků chladičů a lokalizaci případných netěsností. Cyklus zkoušení je spuštěn pomocí obouručního ovládání. Po jeho stisknutí se nejprve natlakuje těsnění, poté se začne zavírat víko. Obouruční ovládání je potřeba držet po celou dobu zavírání víka. Při uvolnění obouručního ovládání dojde z bezpečnostních důvodů k zastavení zavírání. Po úplném zavření víka se automaticky zkoušený modul natlakuje nastaveným zkušebním tlakem a probíhá testování. Po skončení testu obsluha stiskne tlačítko, které dá pokyn k vypuštění zkušebního tlaku a následně ke zvednutí víka. Po úplném zvednutí víka se odvzdušní také těsnící tlak.

Vypracujte následující body:

1. Rešerši k problematice měření a lokalizaci netěsností.
2. Návrh konstrukce zařízení.
3. Návrh pneumatického obvodu.
4. Zvolte prvky pneumatického obvodu.
5. Provedte praktické ověření funkce navrženého obvodu.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.
BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.
KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.
MURRENHOFF, H. REINERTZ, O. *Fundamentals of fluid power: Part 2, Pneumatics*. Aachen: Shaker Verlag, 2014. 333 p. ISBN 978-3-8440-3213-0.
Katalogy a firemní podklady SMC, Festo, Norgren, Aventics.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě13.5.2017.....

..........

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 13. 5. 2017



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Daniel Woroň

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Ostrava Mariánské Hory

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

WORONĚ, D. *Zkušební zařízení pro detekci netěsností: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2017, 52 s. Vedoucí práce: Dvořák, L.

Diplomová práce se zabývá návrhem lokalizační vany pro kontrolu netěsností. V teoretické části jsou popsány jednotlivé metody zkoušení těsnosti prvků. Jsou vyzdvihnuty jejich výhody, nevýhody a oblast použití. V další části práce je navrženo několik možných provedení konstrukce vany. Nejlepší možnost je vymodelována v 3D CAD systému. Následuje návrh pneumatického obvodu a volba prvků. Výsledný obvod byl sestaven v laboratoři a byla prověřena jeho funkčnost. Závěrečná část je věnována návodu pro obsluhu.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

WORONĚ, D. *Test Equipment for Leakage Detection: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipments, 2017, 52 p. Thesis head: Dvořák, L.

The aim of the master thesis is to design test equipment for leakage detection. In theoretical part, there are described some methods of leakage detection. For each method, its advantages, disadvantages and areas of application are emphasized. Next part proposes several possible designs of the bathtub construction. The best one was selected and designed in 3D CAD system. The design of the pneumatic circuit and the selection of the elements follows. The final pneumatic circuit was assembled in laboratory and its functionality was tested. The final part is dedicated to the operating instruction.

Obsah

Seznam použitých značek a zkratk	8
1 Úvod	9
2 Teoretická část	10
2.1 Hydrostatická metoda	11
2.2 Metoda detekce pomocí mýdlové vody	11
2.3 Metoda měření poklesu tlaku	12
2.4 Metoda měření vzrůstu tlaku	14
2.5 Metoda měření průtoku	14
2.6 Metoda sledování úniku plynů	14
2.7 Ultrazvuková metoda	15
3 Návrh konstrukce zařízení	17
3.1 Možnosti provedení konstrukce vany	17
3.2 Výběr konstrukce	19
3.3 Vedení pohyblivých částí	20
3.4 Těsnění zkoušeného výměníku	21
3.5 Konstrukce zkušebního zařízení	22
4 Návrh pneumatického obvodu	25
4.1 Volba pneumomotorů	25
4.2 Návrh pneumatického obvodu	26
4.3 Podrobný popis zvoleného pneumatického obvodu	31
4.4 Alternativní možnosti	32
5 Volba prvků	33
5.1 Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu	33
5.2 Blok obouručního ovládání ZSB	33
5.3 Rozváděče	34
5.4 Škrticí ventily	36
5.5 Pneumatické válce	37

5.6 Ostatní pneumatické prvky.....	37
5.7 Kontrola propustnosti.....	40
6. Praktické ověření funkce obvodu.....	43
7. Manuál pro obsluhu.....	44
7.1 Návod k obsluze.....	44
7.2 Bezpečnostní pokyny	45
7.3 Údržba stroje	46
8. Závěr.....	47
Seznam použité literatury.....	49
Seznam příloh.....	52

Seznam použitých značek a zkratek

A.L.D.S	systém automatické detekce úniku vzduchu	
AND	logický součin	
D	průměr	$[m]$
F	síla	$[N]$
G	tíhová síla	$[N]$
g	tíhové zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
h	zdvih	$[m]$
k	součinitel zohledňující pasivní odpory	$[1]$
L	délka	$[m]$
M	moment	$[N \cdot m]$
m	hmotnost	$[kg]$
NC	v základní poloze uzavřený	
NO	v základní poloze otevřený	
p	tlak	$[Pa]$
Q	průtok	$[m^3 \cdot s]$
Q_{ekv}	ekvivalentní průtok	$[m^3 \cdot s]$
T	teplota	$[^{\circ}C]$
V	objem	$[m^3]$
π	matematická konstanta	$[1]$
τ	čas	$[s]$

1 Úvod

Cílem diplomové práce je návrh lokalizační vany pro kontrolu netěsností v blocích tepelných výměníků. Těsnost tepelných výměníků bude zkoušena pod vodou. Zkoušené prvky se položí na rošt. Do vstupů výměníku se zasunou pneumatické hadice, na jejichž koncích se nachází měchová chapadla pro zatěsnění výměníku. Zkouška začíná zmáčknutím dvou startovních tlačítek. Chapadla utěsní zkoušený prvek. Víko se začne zavírat a rošt zasouvat pod hladinu. Po uzavření víka se prvek natlakuje. Obsluha sleduje, jestli z výměníku unikají bubliny, které by poukazovaly na netěsnosti prvku. Po ukončení zkoušky zmáčkne obsluha třetí tlačítko. Výměník se odtlakuje, víko se začne otevírat a rošt se vysune nad hladinu. Poté měchová chapadla uvolní zkoušený výměník a zkouška se může opakovat s dalším prvkem.

V teoretické části se nachází popis metod zkoušení těsnosti prvků. U každé metody jsou vyzdvihnuty výhody a popsány nevýhody, popřípadě oblast použití. Pomocí získaných poznatků je následně vybrána metoda, která je použita při zkoušení pomocí lokalizační vany.

Další část práce se věnuje návrhu konstrukce vany. Jsou zde rozebrány jednotlivé možnosti, jak bude vana otevírána a kolik k tomu bude potřeba pneumomotorů. Celá vana je vymodelována ve 3D, je zvoleno vedení pohyblivých částí a popsány možnosti těsnění zkoušených výměníků. Ze získaných poznatků je vybrána nejlepší možnost.

Čtvrtá kapitola se věnuje návrhu pneumatického obvodu. Je v ní detailně popsána funkce obvodu. Také je zde nastíněno několik alternativních možností provedení pneumatického systému. V následující kapitole jsou voleny jednotlivé pneumatické prvky a je počítána propustnost obvodu.

Poslední dvě kapitoly popisují praktické ověření funkčnosti obvodu, včetně fotografie a návodu k obsluze zařízení.

2 Teoretická část

Teoretická část práce je věnována metodám zkoušení těsnosti prvků.

Navzdory moderním technologiím je prakticky nemožné vyrobit systém, který by byl zaručeně těsný. Běžný provoz maří přibližně 20-30% vyrobeného stlačeného vzduchu. Pokud je provoz ve špatném stavu, můžou být ztráty na únicích vzduchu až 50%. Při důkladném seřízení lze ztráty snížit pod 10%. Úniky vzduchu způsobují pokles tlaku v systému, který vede k dalšímu snížení efektivity výroby.

Úniky stlačeného vzduchu se mohou výrazně projevit v ceně provozu zařízení. Finanční náklady totiž rostou s rostoucí velikostí úniku exponenciálně. Z netěsností o průměru 1mm unikne za rok při tlaku 0,6MPa 6480 Kč. Přes netěsnost o průměru 10mm to za rok bude 712 800 Kč. Ztráty v pneumatických systémech způsobené netěsnostmi lze vyjádřit tabulkou 2.1.

Ztráty v pneumatických systémech způsobené netěsnostmi			
Netěsnost o průměru	Ztráty vzduchu při tlaku 6 bar	Ztráty energie	Výsledná roční ztráta
1 mm	1,3 l/s	0,3 kW	6 480 Kč
3 mm	11,1 l/s	3,1 kW	66 960 Kč
5 mm	31,0 l/s	8,3 kW	179 280 Kč
10 mm	124,0 l/s	33,0 kW	712 800 Kč
Rok = 7 200 provozních hodin; 1 kW = 3 Kč			

Tab. 2.1 Ztráty v pneumatických systémech způsobené netěsnostmi [24]

Zkoušky těsnosti jsou většinou jedním z kroků kontroly kvality. Jde o jednorázový nedestruktivní test. Existuje několik možností jak zkoušku těsnosti provést. Nejjednodušší způsob je ponořit výrobek do vody a sledovat zdali dojde k úniku bublin vzduchu. Tuto metodu ale nelze použít pro velké prvky. Místo ponoření do vody je možné na součást nanést mýdlovou vodou a sledovat tvorbu bublin. Zkoušky těsnosti lze provést taky měřením poklesu nebo vzrůstu tlaku za stanovený čas zkoušky, pomocí sledování úniku plynů nebo ultrazvukovou metodou.

Jednotlivé metody jsou detailněji rozepsány v následujících podkapitolách.

2.1 Hydrostatická metoda

Hydrostatická metoda, také zvaná bublinová zkouška, je tradiční a relativně primitivní metoda zjišťování netěsností. Během testu se ponoří natlakovaná součást do vany s vodou a sleduje se, jestli unikají bublinky vzduchu. Čím jsou bubliny větší a čím častěji se tvoří, tím větší je únik vzduchu. Relativně malé úniky lze také detekovat, ale je to obtížnější.

Zvýšením vnitřního tlaku se zvýší pravděpodobnost nalezení netěsnosti. Zároveň to zkrátí dobu trvání zkoušky. Do vody můžeme přidat přísady, které snižují povrchové napětí vody a zabraňují unikajícímu plynu ulpívat na stěnách prvku. Také je možné použít jiný plyn nebo kapalinu, se kterými lze dosáhnout lepších výsledků. Každá jiná kombinace než voda vzduch je ale finančně nákladnější.

Hlavní výhoda zkoušky je nízká cena. Mezi nevýhody patří relativně malá citlivost, velká závislost na lidském faktoru, možnost kontaminace prvku v kapalině a nutnost prvek po ukončení zkoušky osušit. Metoda není vhodná pro testování velkých součástí, které by musely být ponořeny do objemných nádrží.



Obr. 2.1 Bublinová zkouška [2]

2.2 Metoda detekce pomocí mýdlové vody

Místo ponoření do vody je na zkoumanou součást nanесena mýdlová voda. V místech úniku vzduchu se začnou tvořit bubliny. Existují různé metody jak mýdlovou vodu nanést, například pomocí štětečku nebo spreje. Některé přípravky obsahují i nemrznoucí směs, aby mohla být zkouška prováděna i v zimě. Snížením hustoty činidla dosáhne zkouška větší citlivosti a dokáže rozpoznat i velmi malé úniky vzduchu.

Metoda je vhodná pro testování velkých součástí. Ideální je, pokud přibližně víme, kde by mohlo docházet k úniku, a můžeme zkoušku provést jen v dané oblasti. V takovém případě vyjde zkouška velmi levně. Podstatně jednodušší je také následné čištění dílu. Pokud je ale nutné zkoušet celou velkou součást, zkouška se prodraží.

Plocha, na které je zkouška prováděna, by měla být lehce dostupná a pokud možno co nejjednodušší. Zkoušku je obtížné provést například na spodní části velkých tepelných výměníků, protože je velice složité tam mýdlovou vodu nanést a sledovat bubliny.



Obr. 2.2 Detekce netěsností pomocí mýdlové vody [3]

2.3 Metoda měření poklesu tlaku

Měřený systém se natlakuje a odpojí od zdroje tlaku. Následně se měří pokles tlaku Δp za čas. Pokud tlak za měřený čas poklesne hodně, dochází v systému k velkému úniku vzduchu. Pokud se tlak během zkoušky nezmění, nedochází k úniku vzduchu.

Pokud je zkouška prováděna delší dobu, je schopná odhalit menší úniky vzduchu – to je ale velmi časově náročné. Podobně jako u předchozích metod je možné zkoušku urychlit zvýšením tlaku. Z bezpečnostního hlediska lze bez ochranných opatření testovat pouze do tlaku 2MPa .

Zkoušku může také ovlivnit změna teploty plynu. Suchý dusík dosahuje lepších výsledků než vzduch, protože tlak se při změně teploty změní méně.

U většiny prvků dochází k určitému poklesu tlaku během zkoušky. Tento pokles se porovná s garantovaným maximálním poklesem od výrobce, a pokud je menší, tak prvek projde zkouškou. Pokud došlo k většímu poklesu tlaku, je nutné použít jiných metod, aby byl únik lokalizován.

Pomocí měření poklesu tlaku lze vypočítat objemovou ztrátu vzduchu Q_z unikajícího netěsnostmi za čas τ ze vztahu:

$$Q_z = \frac{V \Delta p T_N}{\tau p_N T_1} \quad (1)$$

kde $V = V_V + V_R$ je objem vzdušníku V_V a rozvodu V_R , Δp je pokles tlaku, T_1 je teplota vzduchu uvnitř prvku a T_N a p_N představují teplotu a tlak okolí (normální podmínky).

Objem rozvodu V_R je zpravidla neznámý a lze jej vypočítat následujícím postupem:

Vypočte se objemová ztráta rozvodu bez vzdušníku Q_{zR}

$$Q_{zR} = \frac{V_R \Delta p_1 T_N}{\tau_1 p_N T_1} \quad (2)$$

Objemová ztráta rozvodu se vzdušníkem Q_{zR+V}

$$Q_{zR+V} = \frac{V_R + V_V \Delta p_2 T_N}{\tau_2 p_N T_1} \quad (3)$$

Porovnáním pravých stran rovnic získáme vztah pro obsah rozvodu V_R

$$V_R = \frac{V_V}{\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} \frac{\tau_2}{\tau_1} - 1} \quad (4)$$

Pokud tlakové spády Δp_1 a Δp_2 zvolíme stejné (např. $0,1 \text{ MPa}$), bude

$$V_R = \frac{V_V}{\frac{\tau_2}{\tau_1} - 1} \quad (5)$$

kde τ_1 je doba poklesu tlaku při měření bez vzdušníku a τ_2 je doba poklesu tlaku při měření se vzdušníkem.

Výhodou metody je, že spolehlivě odhalí, zdali dochází k úniku nebo ne a navíc dokáže únik kvantifikovat. Mezi další výhody patří, že metoda může být prováděna zcela automaticky a tím se zabrání chybám způsobeným lidským faktorem. Hlavní nevýhoda zkoušky spočívá v tom, že zjistí pouze, zdali dochází k úniku, ale neurčí, kde k úniku dochází.

2.4 Metoda měření vzrůstu tlaku

Tato metoda funguje opačně než metoda měření poklesu tlaku. Uvnitř prvku se vytvoří podtlak. Následně se měří, o kolik tlak během zkoušky vzroste. Čím více se blíží podtlak vakuu, tím citlivější a přesnější by zkouška měla být.

Tato metoda je plně automatická, nezávisí na lidském faktoru. Stejně jako předchozí metoda pouze zjišťuje, zdali dochází k úniku, nebo ne. Metoda není vhodná pro prvky, které by nevydržely okolní tlak, a mohlo by u nich dojít k poškození - například tenké plastové součásti. Výhodou oproti měření poklesu tlaku je menší závislost zkoušky na teplotě.

2.5 Metoda měření průtoku

Nejrychlejší způsob zjištění těsnosti prvku je jeho zapojení ke zdroji konstantního tlaku. Před zkoušený prvek je potřeba zařadit průtokoměr snímající doplňování průtoku, kterým zdroj konstantního tlaku vyrovnává úniky vzduchu. K dosažení kvalitního výsledku je potřeba citlivý průtokoměr, který dokáže změřit i velmi malé průtoky. Například průtokoměry SFE3 od firmy Festo jsou schopny změřit průtok od $0,05 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ [7].

Pro zjištění úniku vzduchu ve velkém pneumatickém systému je možné použít systém automatické detekce úniku vzduchu A.L.D.S. (anglická zkratka „automatic leak detection system“). Speciální snímače průtoku se zařadí do jednotlivých větví pneumatického systému. Pokud průtok přes průtokoměr stoupne, dostane údržba informaci, ve které konkrétní části systému dochází k úniku. A.L.D.S. dokáže vypočítat i konkrétní hodnoty úniku vzduchu v dm^3/min . Výhodou je také nepřetržité monitorování systému během provozu. Nevýhodou je cena a neschopnost lokalizace úniku.

2.6 Metoda sledování úniku plynů

Metoda spočívá v detekování a měření unikajícího plynu. Zkouška se běžně provádí s heliem, halogeny nebo směsí dusík 95%, vodík 5%. Od halogenů se ale ustupuje z důvodu ochrany životního prostředí.

Helium má výborné fyzikální vlastnosti – není jedovaté, hořlavé, má nízkou viskozitu, a molekulovou hmotnost, proto snadno pronikne přes trhliny. Pokud by ale docházelo v některém místě k velkému úniku, byla by zkušebna kontaminována, protože helium se ve

vzduchu rozpouští pomalu. Měří se pomocí hmotnostního spektrometru, který je drahý a náročný na údržbu. Proto je helium vhodnější pro laboratorní zkoušky než pro průmyslovou výrobu.

Vodík má pro tuto metodu nejlepší vlastnosti ze všech plynů. Navíc není škodlivý pro životní prostředí. Vodíkové detektory nevyžadují žádnou údržbu. Čistý vodík nemůže být pro zkoušku použit, ale směs 5% vodíku a 95% dusíku dosahuje ideálních výsledků. Směs není hořlavá, výbušná a je levná a lehce dostupná.

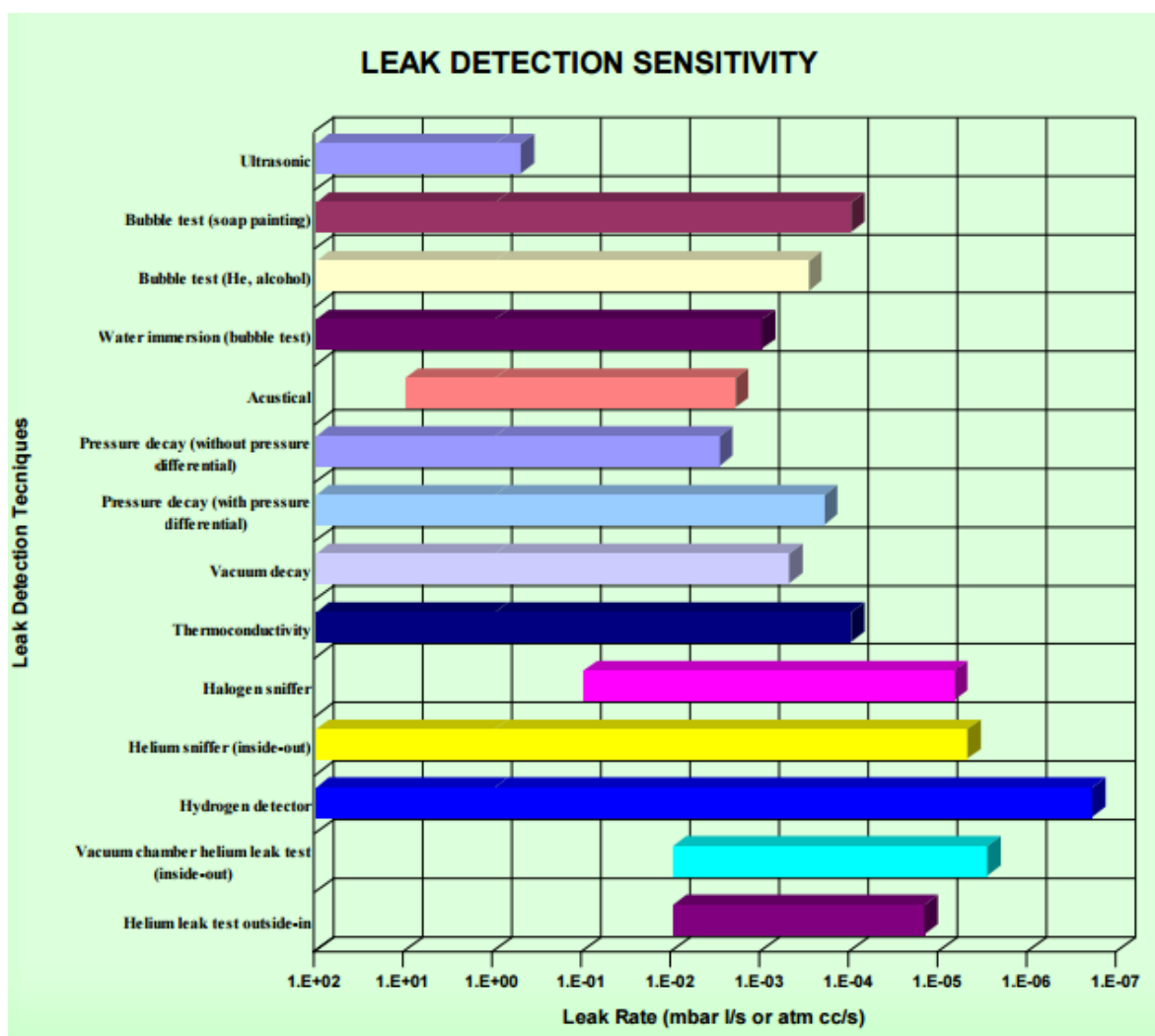
Existují čtyři způsoby provedení zkoušky těsnosti pomocí sledování detekčního plynu. První metodou je detekce úniku při okolním atmosférickém tlaku, druhou je detekce pomocí vakuové komory. Tyto metody fungují na principu detekce zevnitř-ven. Zbylé dvě metody fungují opačně tedy zvenku-dovnitř, buď vložením prvku do komory s detekčním plynem, nebo sprejováním plynu na povrch součásti.

Nevýhodou zkoušky je opět lidský faktor. Operátor nemusí zkontrolovat všechna místa, ve kterých by mohlo docházet k úniku.

2.7 Ultrazvuková metoda

Únik vzduchu lze zaznamenat pomocí ultrazvukových akustických detektorů. Vzduch unikající přes úzkou puklinu vydává vysokofrekvenční „syčivé“ zvuky, které lze pomocí mikrofону, zesilovače a zvukových filtrů rozpoznat. Metoda může být použita i v hlučných provozech, protože všechny rušivé zvuky na pozadí jsou odstraněny pomocí zvukových filtrů. Místo úniku lze najít velmi přesně, protože čím blíže se detektor přiblíží ke zdroji úniku, tím výraznější je získaný signál. Další výhodou je univerzálnost metody a nenáročnost pro operátora.

Porovnání citlivosti jednotlivých metod dle [1] je vidět na obrázku 2.3. V tabulce 2.2 jsou přeloženy české a anglické názvy zkoušek.



Obr. 2.3 Citlivost metod pro zjišťování těsnosti [1]

Český název metody	Anglický název metody
Bublinová zkouška	Water immersion (bubble test)
Detekce pomocí mýdlové vody	Bubble test (soap painting)
Měření poklesu tlaku	Pressure decay
Metoda sledování plynů - halogeny	Halogen sniffer
Metoda sledování plynů – helium (zevnitř-ven)	Helium sniffer (inside-out)
Metoda sledování plynů – vodík 5%, dusík 95%	Hydrogen detektor
Ultrazvuková metoda	Ultrasonic

Tab. 2.2 Překlad vybraných metod pro obr. 2.3

3 Návrh konstrukce zařízení

Cílem diplomové práce je návrh zařízení pro kontrolu bloků chladičů a lokalizaci případných netěsností. Dané aplikaci vyhovuje metoda bublinové zkoušky, neboť je finančně nenáročná a dokáže lokalizovat místo úniku. V následující kapitole bude zjednodušeně popsán návrh konstrukce lokalizační vany, ve které bude zkouška probíhat.

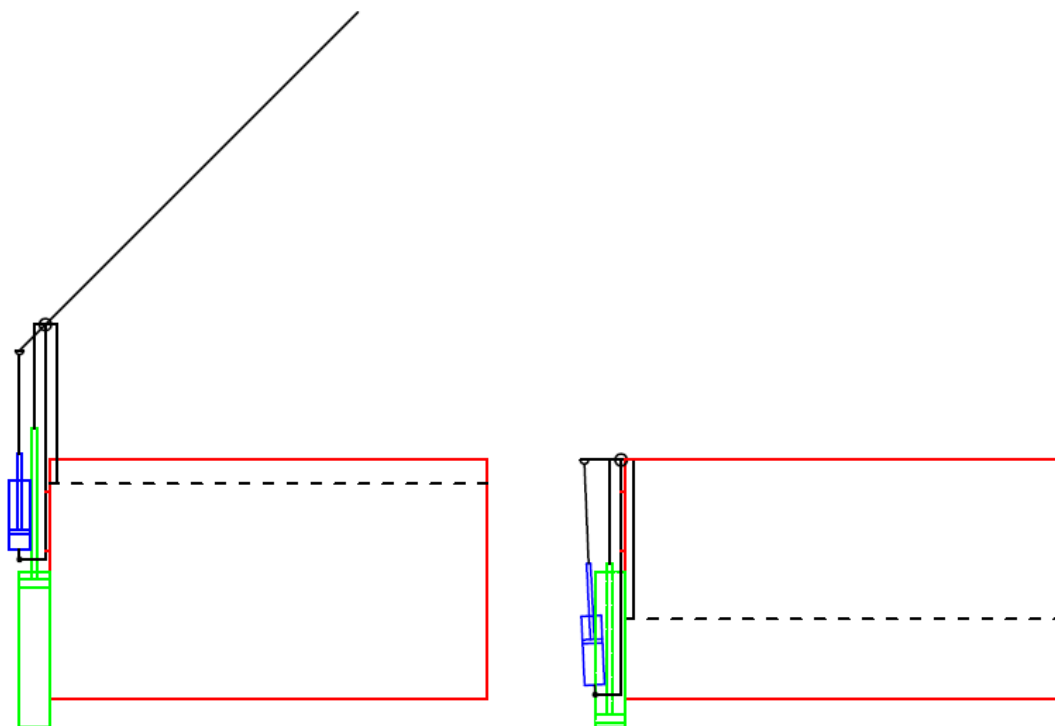
Zařízení je navrženo tak, aby bylo možné zkoušet dva prvky vedle sebe. Velikost vnějších rozměrů vany bude 850x550x300mm. Maximální velikost zkoušených prvků bude 400x200x100mm. Příklad zkoušeného prvku je vidět na obrázku 3.1. Jedná se o topení do auta Mini Cooper.



Obr. 3.1 Příklad zkoušeného prvku [8]

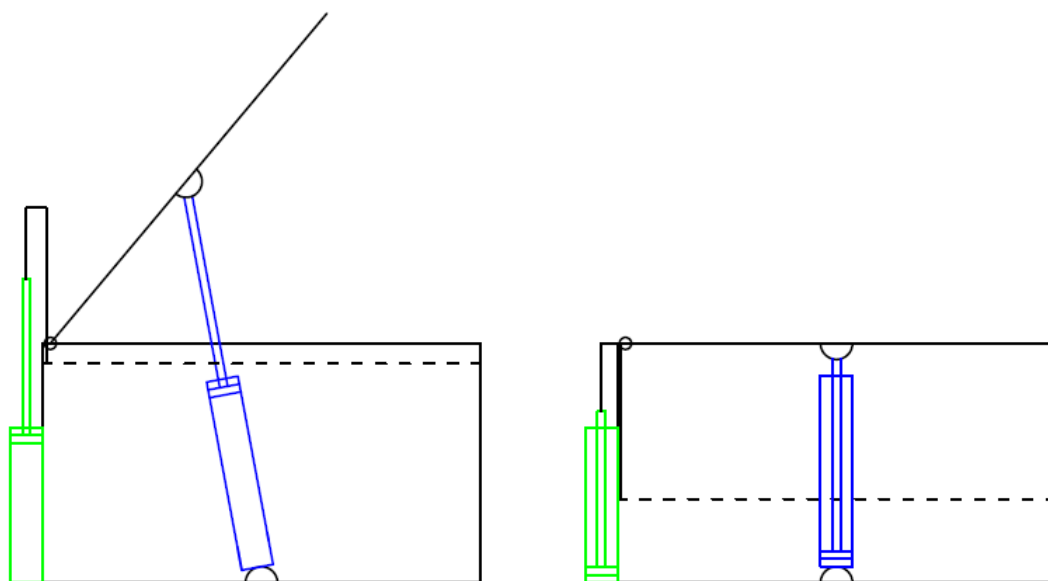
3.1 Možnosti provedení konstrukce vany

Existuje několik možných provedení otvírání vany. Každá varianta musí umožňovat otevírání víka vany a zasouvání roštu, na který se chladiče položí, pod hladinu vodní lázně. První varianta je znázorněna na obrázku 3.2. Otevírání víka zabezpečují dva synchronizované pneumatické válce, které se nachází na krajích zadní strany vany. Ovládání roštu umožňuje zelený pneumomotor umístěný uprostřed zadní strany. Zelený pneumomotor posouvá modrý i s celou černou konstrukcí nahoru, respektive dolů. Červeně je znázorněna pevná konstrukce vany.



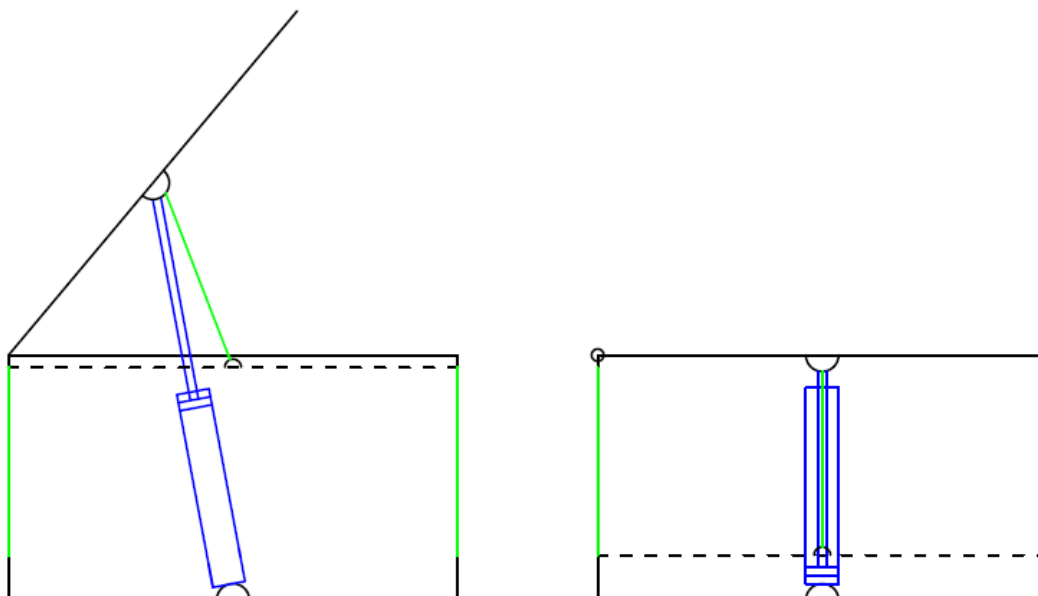
Obr. 3.2 První varianta provedení vany

Ovládání roštu u druhé varianty je stejné jako u předchozí. Rozdíl je u otevírání víka, které ovládají dva modré pneumomotory po stranách vany. Tato varianta je výhodnější, protože modré pneumomotory musí vyvinout menší sílu, aby víko otevřely. Na druhou stranu by bylo složité boční pneumomotory z bezpečnostního hlediska zakrytovat.



Obr. 3.3 Druhá varianta provedení vany

U třetí varianty je použita pouze dvojice pneumomotorů, které jsou umístěny po stranách vany. Rošt je kloubově zavěšen na víko. Při zavírání víka se rošt zasouvá pod hladinu společně s víkem. Zadní stěny vany se rošt dotýká pomocí zeleně znázorněných kolejnic, aby zajel pod hladinu plynule, bez drhnutí.

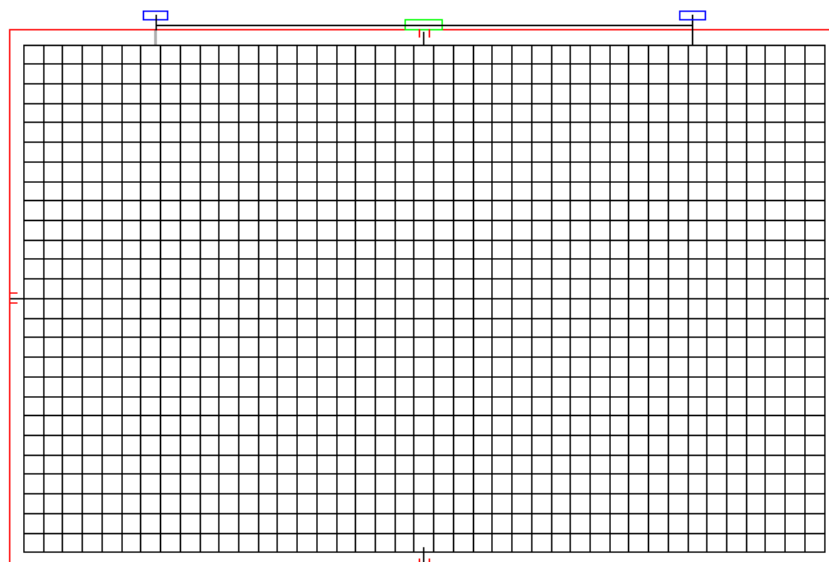


Obr. 3.4 Třetí varianta provedení vany

3.2 Výběr konstrukce

Vana bude stát u zdi, a proto nebude nutné zadní stěnu zakrytovat. Vzhledem k tomu, že víko vany bude z větší části vyrobeno z plexiskla, aby mohl být sledován průběh zkoušky, nebude víko moc těžké, a proto ani u první varianty nebude potřeba velkých pneumomotorů na otevírání víka. U variant s dvěma pohony lze v případě potřeby – například poruchy – manipulovat s víkem a roštem zvlášť. Třetí varianta je také konstrukčně složitější. Proto, po zvážení všech výhod a nevýhod jednotlivých možností, bylo zvoleno první provedení.

Víko a rošt navrhované vany jsou vyrobeny z nerezové oceli ČSN 17240. Hmotnost víka je přibližně 10kg, rošt a celá zvedaná konstrukce váží asi 23kg. Pro stanovení přibližné hmotnosti byla použita internetová kalkulačka. [9] Rošt je vybaven čtyřmi dorazovými kluznicemi, které se pohybují v žlábcích na stěnách vany. Vrchní pohled na vanu bez víka je na obrázku 3.5.



Obr. 3.5 Horní pohled na vanu bez víka

3.3 Vedení pohyblivých částí

Pro zabezpečení pohybu nahoru a dolů bylo použito normalizované vedení od firmy Matis industrial components. Pro zvolenou konstrukci bylo zapotřebí čtyř kuličkových pouzder AGC-14-C. Vnitřní průměr pouzdra je 14mm . Únosnost vedení je 620N . Další parametry vedení je možné dohledat v katalogu [14].

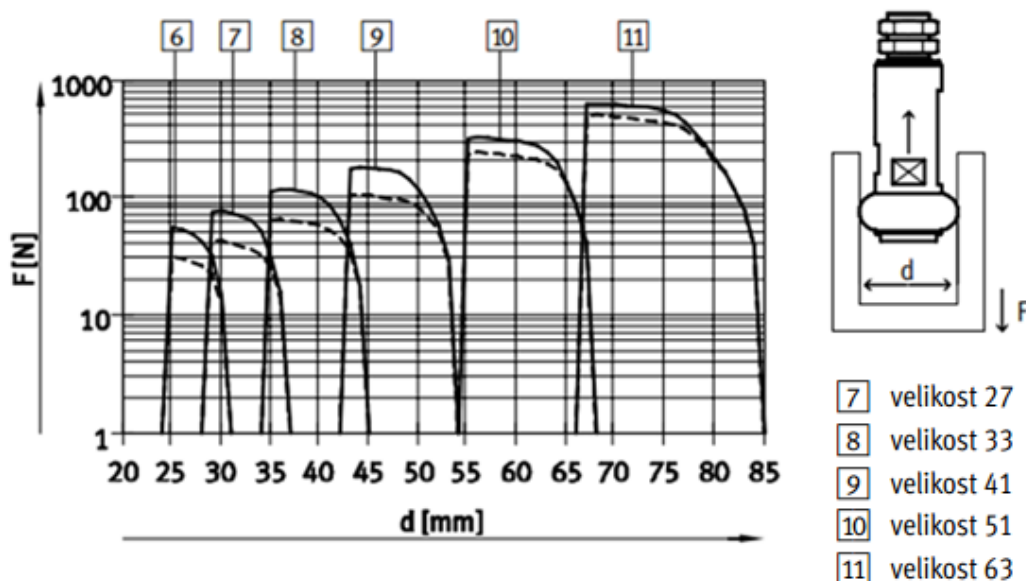
Ke zvolenému vedení byly vybrány plné vodící tyče, indukčně kalené, tvrdě chromované WV14 o délce 340mm od téže firmy [15]. Vedení není nutné domazávat.



Obr. 3.6 Normalizované vedení

3.4 Těsnění zkoušeného výměníku

Zkoušené prvky budou těsněny pomocí měchových chapadel od firmy Festo [10]. Velikost vstupních otvorů je 30 až 60mm. Toto rozpětí je příliš velké, aby bylo možné ho pokrýt pouze jediným měchovým chapadlem. Pro pokrytí celého rozmezí je zapotřebí chapadel od velikosti 27 po velikost 51. Před začátkem zkoušky musí obsluha zvolit odpovídající velikost chapadla pro zvolený výměník.



Obr. 3.7 Volba měchových chapadel [11]

Aby byly chapadla schopná těsnit, musí překonat sílu vyvolanou zkušebním tlakem. Při maximálním zkušebním tlaku 0,3MPa a při maximálním průměru těsněného hrdla 60mm je síla F působící na chapadlo:

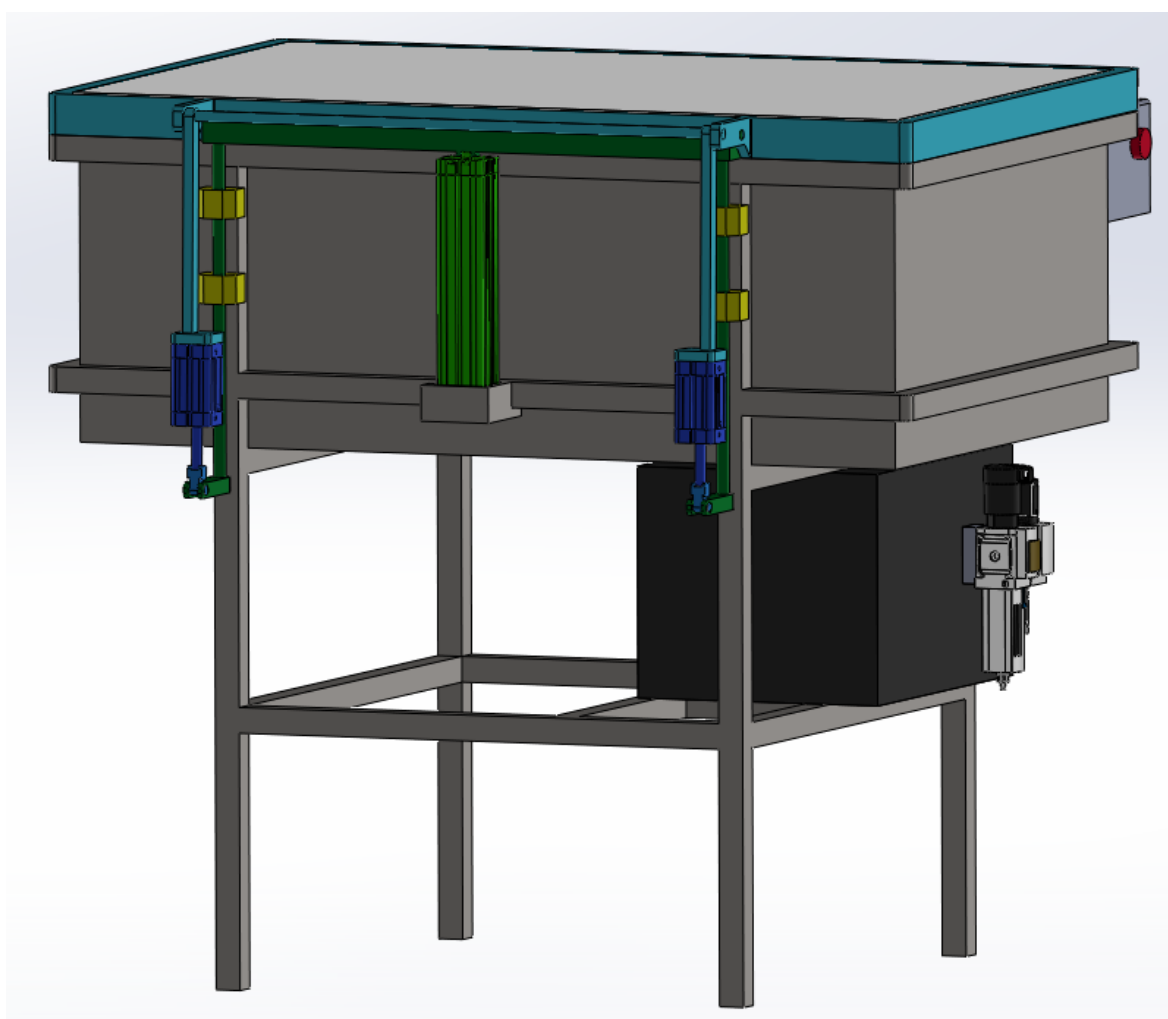
$$F = p \cdot S = p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 300000 \cdot \frac{\pi \cdot 0,06^2}{4} = 848N \quad (6)$$

Teoretická úchopná síla chapadel při tlaku 0,6MPa a průměru otvoru 60mm je přibližně 300N, pokud by byl otvor hladký. Pokud se chapadla opřou o osazení, mohla by zkušební tlak vydržet. Pokud by ani tak nevyhovovala, bylo by nutné objednat chapadla na míru s větší dotykovou plochou, která by dokázala lépe využít osazení a vydržet zkušební tlak.

3.5 Konstrukce zkušebního zařízení

Návrh konstrukce lokalizační vany byl proveden v programu Solidworks. Pohled na zavřenou vanu ze zadní strany je vidět na obrázku 3.8. Pro přehlednost byly jednotlivé prvky barevně znázorněny. Zelený pneumomotor zvedá celou konstrukci nahoru. V odstínech modré byly znázorněny prvky sloužící k otevírání víka. Tmavě modré jsou pneumomotory a světle modré je víko a přídatná konstrukce.

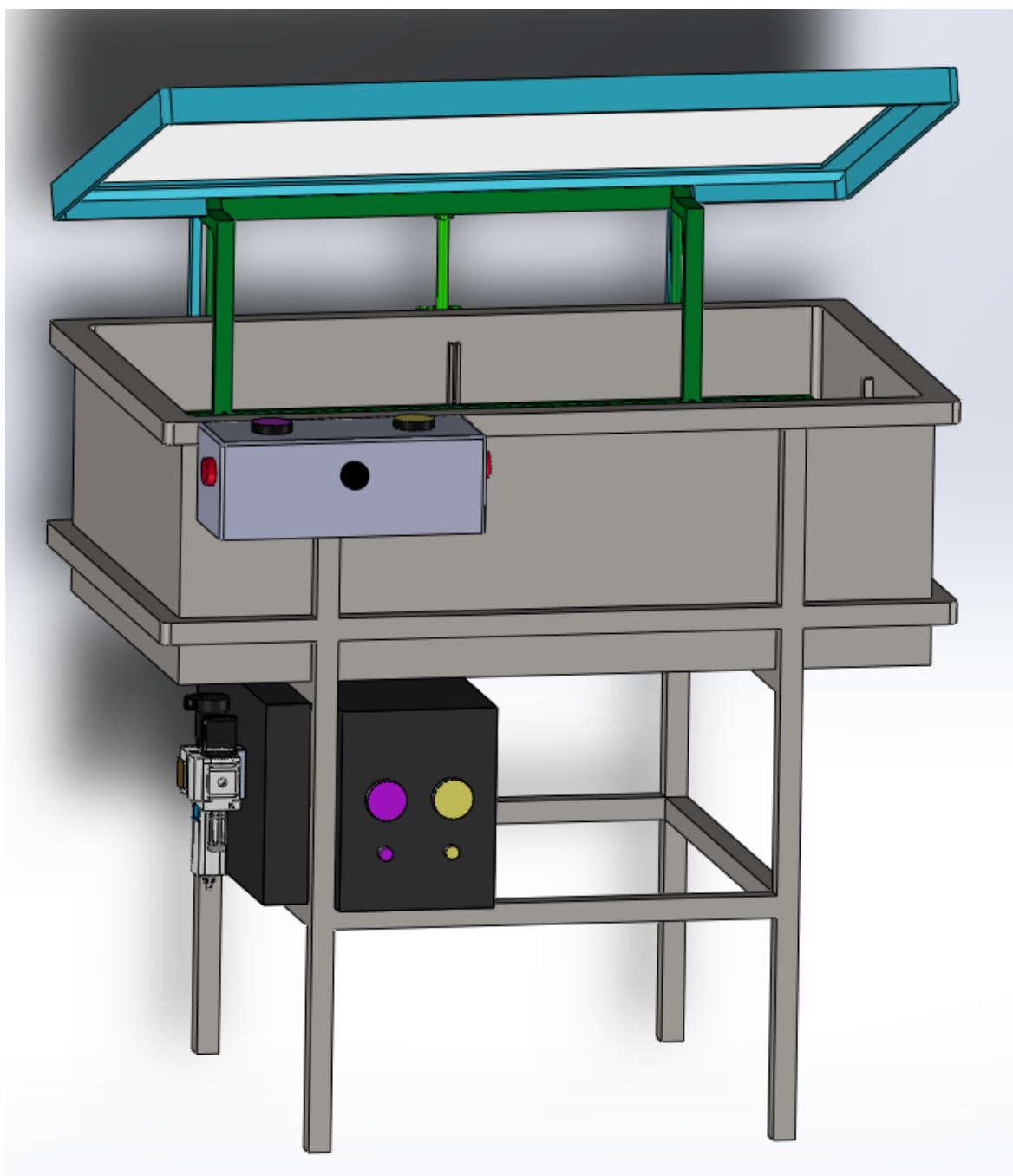
Žlutě jsou znázorněna čtyři kuličková pouzdra pro vedení vodících tyčí. Bílou barvou je vybarveno plexisklo, které zabírá většinu plochy víka. Nepohyblivá část vany je ponechána šedá.



Obr. 3.8 Pohled na uzavřenou vanu

Na obrázku 3.9 je z přední strany znázorněna pootevřená vana. Na přední části vany se nachází stříbrně znázorněný řídicí panel. Červená tlačítka sloužící pro začátek cyklu se z bezpečnostních důvodů nachází na bočních stěnách řídicího panelu, aby nebylo možné je obě stlačit pomocí jedné ruky. Černé tlačítko vrací vanu do otevřené polohy. Na vrchní

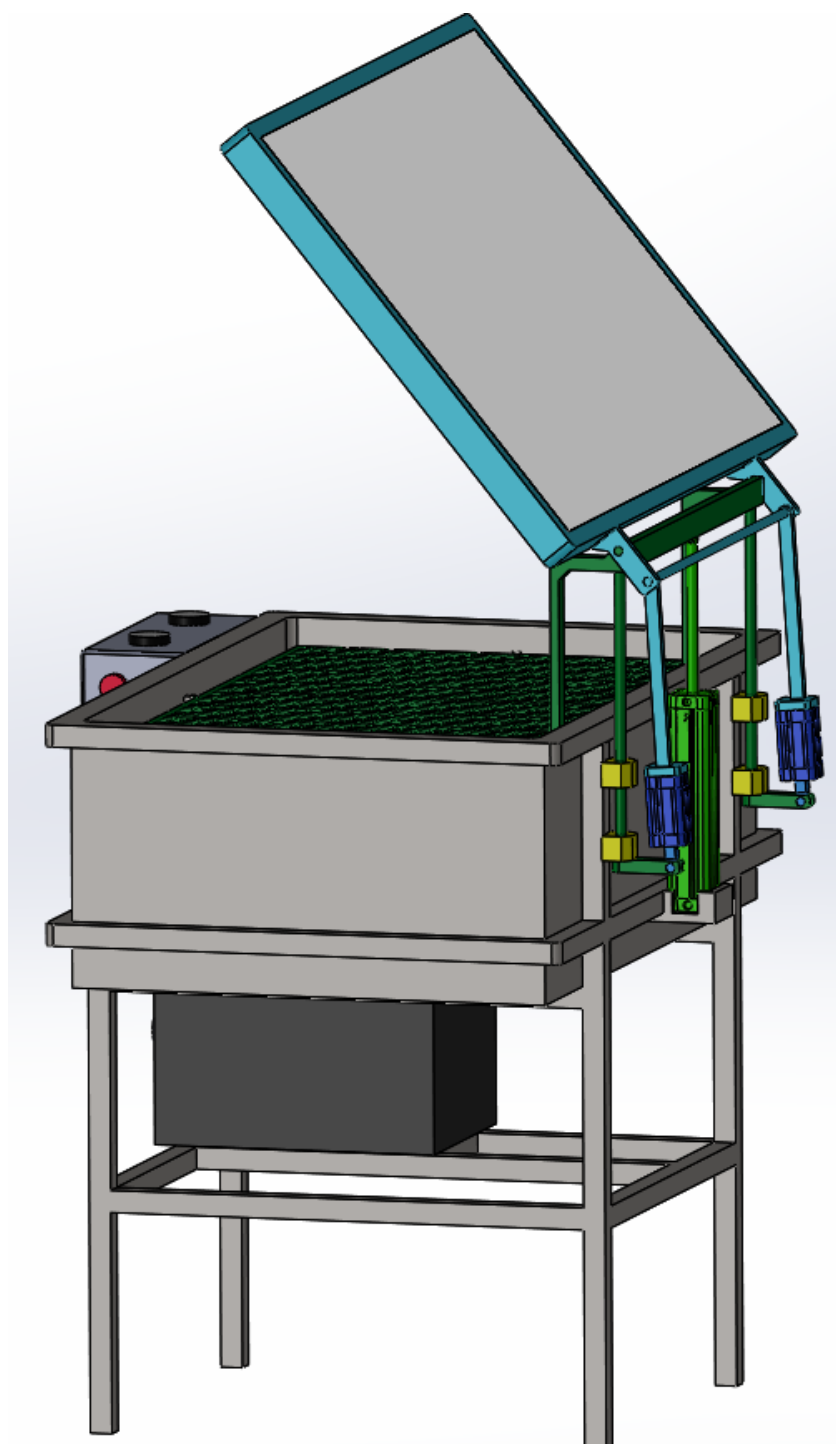
straně řídicího panelu se nachází dva manometry. Růžovou barvou je zvýrazněn manometr pro kontrolu upínacího tlaku měchových chapadel. Žlutou barvou je znázorněn manometr pro kontrolu zkušební tlaku. Pod vanou se nachází černou barvou znázorněná řídicí skříň. Na její přední straně jsou další dva manometry spojené s redukčními ventily, na nichž je možné nastavit zkušební a těsnicí tlak. Na levé straně se jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu a spouštěcí ventil, pomocí kterého je přiveden tlak do obvodu. Uvnitř řídicí skříně se nachází i další pneumatické prvky.



Obr. 3.9 Pohled na pootevřenou vanu

Pohled na zcela otevřenou vanu se nachází na obrázku 3.10. Je možné vidět, že se víko, rošt a celá zvedaná konstrukce včetně dvou menších pneumomotorů vysunula nahoru. Zelený pneumatický válec je zcela vysunutý, naopak modré pneumatické válce jsou zasunuty.

Lokalizační vana je vymodelována ve skutečných velikostech, a tak bylo možné zjistit, že celková hmotnost zvedané konstrukce je 25kg. Samotné víko váží 12,5kg. Tyto hmotnosti jsou použity pro následné dimenzování pneumatických válců.



Obr. 3.10 Boční pohled na zcela otevřenou vanu

4 Návrh pneumatického obvodu

Na základě návrhu konstrukce a zjištěných zatížení jsou zvoleny pracovní prvky. V další části této kapitoly je uvedena skladba řídicího obvodu a na závěr volba prvků.

4.1 Volba pneumomotorů

Otevírání víka zajišťují dva svisle umístěné pneumomotory. Pro otevření víka je potřeba zdvih pneumatických válců 40mm. Tíhová síla G působí uprostřed víka.

$$G = m_v \cdot g = 12,5 \cdot 9,81 = 122N$$

Tíhová síla G vytvoří na rameni otáčení $L_{\text{víka}}/2$ moment M :

$$M = L_{\text{víka}}/2 \cdot G = 311 \cdot 122 = 37942Nmm$$

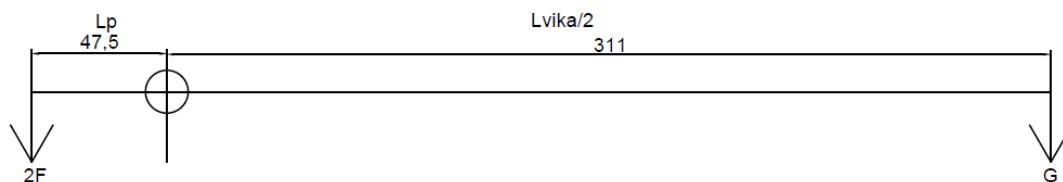
Pro otevření víka je zapotřebí síla $2F$ na rameni L_p :

$$2F = \frac{M}{L_p} = \frac{37942}{47,5} = 799N$$

Výsledná síla pro jeden pneumomotor je:

$$F = \frac{2F}{2} = \frac{799}{2} = 399N \quad (7)$$

Grafické znázornění působících sil je na obrázku 4.1.



Obr. 4.1 Výpočet síly pro zvedání víka

Volba pístu byla provedena pomocí výpočetního programu „engineering“ od firmy Festo [12]. Pro tlak 0,6MPa a zvedanou sílu 399N na mezikruží odpovídá pneumatický válec ADN-32-40-A-P-A. Zvolený válec byl také zkontrolován dle maximální přípustné síly zvedané mezikružím z katalogu [13].

Síly [N] a energie nárazu [J]	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
teoretická síla při 6 barech, pohyb vpřed											
-	68	121	188	295	483	754	1 178	1 870	3 016	4 712	7 363
S1	-	-	-	295	-	754	-	1 870	-	4 712	-
S2	51	90	141	247	415	686	1 057	1 750	2 827	4 524	7 069
teoretická síla při 6 barech, pohyb vzad											
-	51	90	141	247	415	686	1 057	1 750	2 827	4 524	7 069
S1	-	-	-	247	-	633	-	1 681	-	4 417	-
S2	51	90	141	247	415	686	1 057	1 750	2 827	4 524	7 069
max. energie nárazu v koncových polohách											
-	0,07	0,15	0,2	0,3	0,4	0,7	1	1,3	1,8	2,5	3,3
S1	-	-	-	0,3	-	0,7	-	1,3	-	2,5	-
S6	0,035	0,075	0,1	0,15	0,2	0,35	0,5	0,65	0,9	1,25	1,75
K10	-	-	0,16	0,24	0,32	0,56	0,8	1	1,4	2	2,6
S20	-	0,016	0,024	0,083	0,15	0,39	0,48	0,62	0,8	0,9	0,95

Obr. 4.2 Kontrola síly

Průměr druhého pneumatického válce pro zvedání roštu a na něm připevněné konstrukce $D_{rošt}$ se dle [4] vypočte:

$$D_{rošt} = \sqrt{\frac{4 \cdot k \cdot m_{celk} \cdot g}{\pi \cdot p_1}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3 \cdot 25 \cdot 9,81}{\pi \cdot 600000}} = 0,026m = 26mm \quad (8)$$

Kde k je součinitel zohledňující pasivní odpory, $k = 1,1 \div 1,3$. Pro výpočet bylo zvoleno $k = 1,3$, protože je možné předpokládat tření ve vedení. Hmotnost m_{celk} představuje hmotnost celé zvedané části, včetně zkoušených prvků.

Pro zvedání konstrukce je použit pneumatický válec od společnosti Festo ADN-32-170-A-P-A.

4.2 Návrh pneumatického obvodu

Zařízení ovládá tlak pro plnění těsnicích prvků a také zkušební tlak. Cyklus zkoušení je spuštěn pomocí obouručního ovládání. Otevírání vany pak dalším ručním tlačítkem. Zařízení je koncipováno pro obsluhu jedním člověkem.

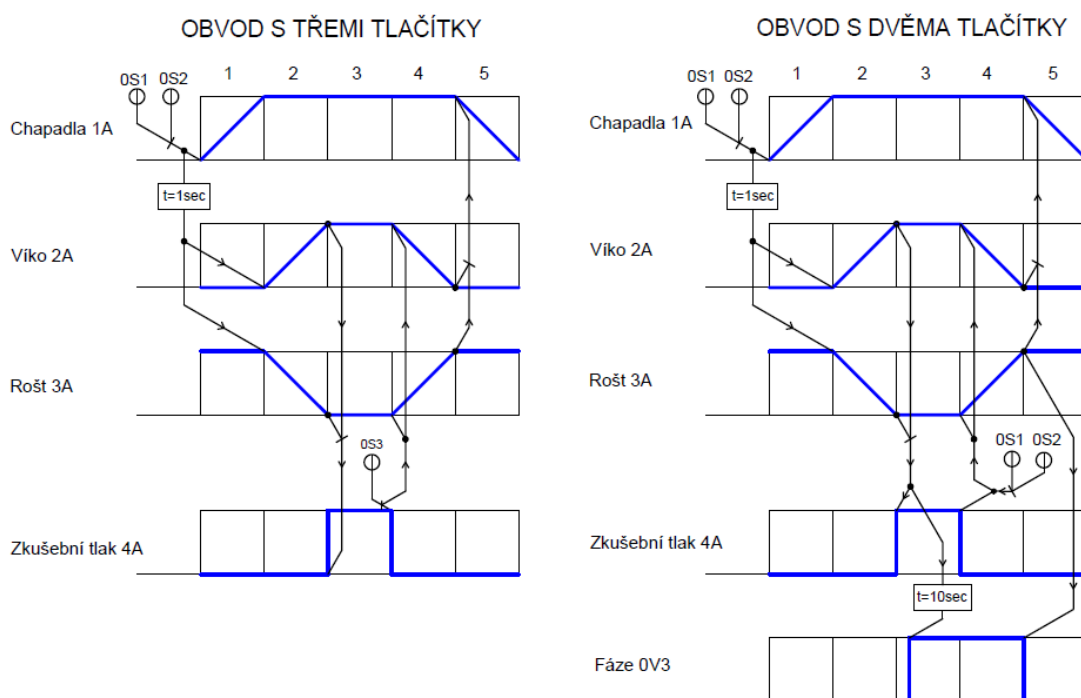
Po stisknutí obouručního ovládání se nejprve natlakuje těsnění zvoleným těsnicím tlakem (nastaveno na ručním redukčním ventilu). Obouruční ovládání je potřeba držet po celou dobu zavírání víka. Při puštění obouručního ovládání dojde k zastavení zavírání z bezpečnostních důvodů. Po úplném zavření víka se automaticky zkoušený modul natlakuje nastaveným zkušebním tlakem (druhým ručním redukčním ventilem) a probíhá testování. Po skončení testu obsluha stiskne tlačítko. Na základě toho dojde k vypuštění

zkušebního tlaku a následně k otevření vany – zvednutí víka. Po úplném zvednutí víka se odvdzušní také těsnicí tlak.

Na základě uvedeného popisu je navržen pneumatický obvod ve dvou variantách. První z nich je řešení ovládání pomocí třech tlačítek (dvě pro spuštění zkoušky a jedno pro její ukončení), tak jak bylo uvedeno v popisu, druhá varianta je řešena pouze se dvěma tlačítky pro spuštění i ukončení zkoušky. Obě jsou následně porovnány.

Průběh pohybů vykonávaných obvodem a řídicích signálů je znázorněn v krokovém diagramu na obrázku 4.3. Na obr. 4.4 je potom schéma pro variantu se třemi tlačítky.

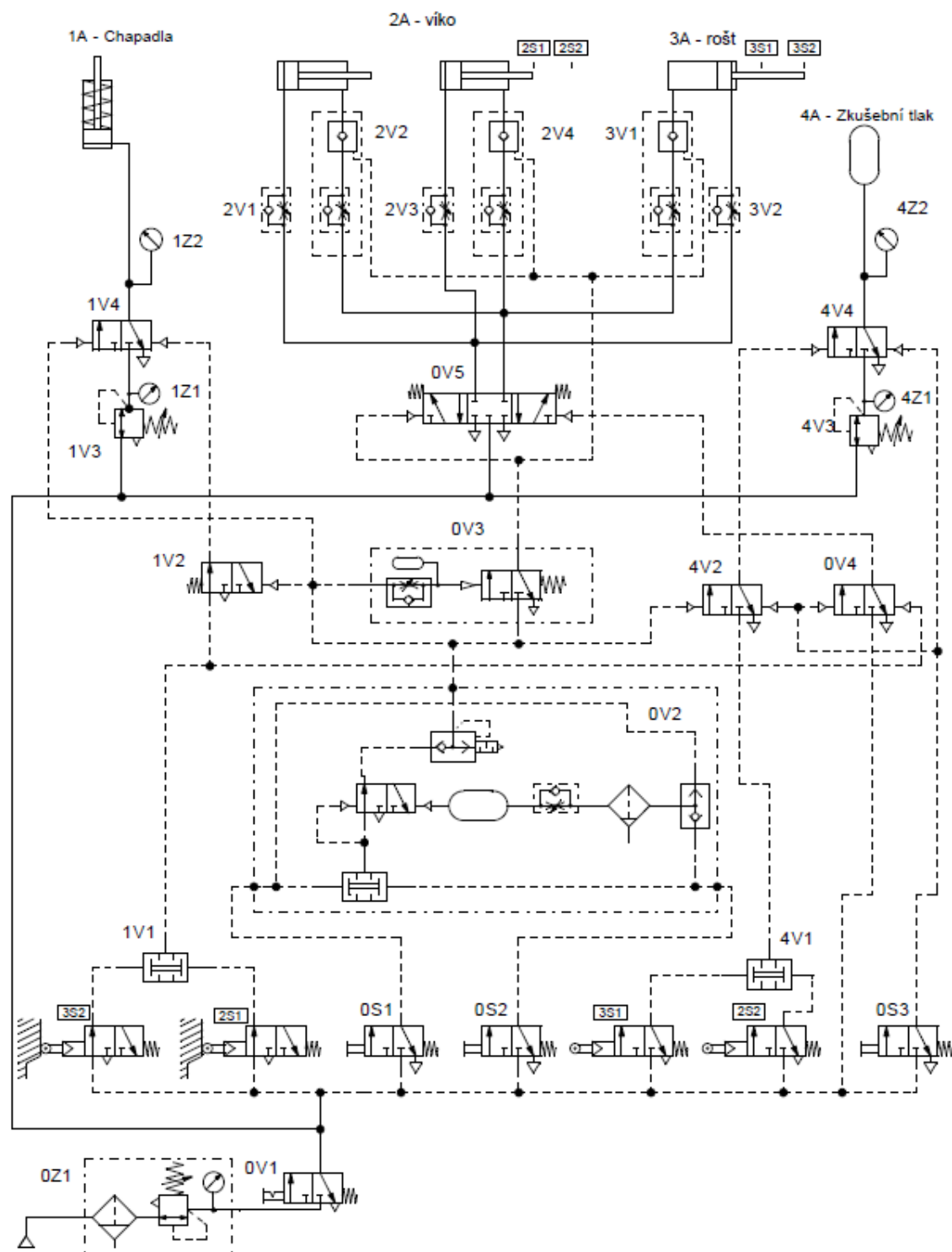
Na obrázku 4.5 je pneumatický obvod ovládaný dvěma tlačítky. V této variantě je použit fázový rozváděč 0V3. Druhá fáze se aktivuje po uzavření víka a natlakování systému. Při dvoufázovém řešení je otevírání víka provedeno stejnou dvojicí tlačítek, kterou se při první fázi víko uzavírá. Aby nedošlo k neplánovanému otevření víka hned po uzavření, je druhá fáze zpožděna o několik sekund pomocí časového relé. V tomto mezičase je třeba tlačítka uvolnit. Poté co proběhne kontrola těsnosti, je třeba stisknout opět obě tlačítka pro ukončení zkoušky a otevření víka.



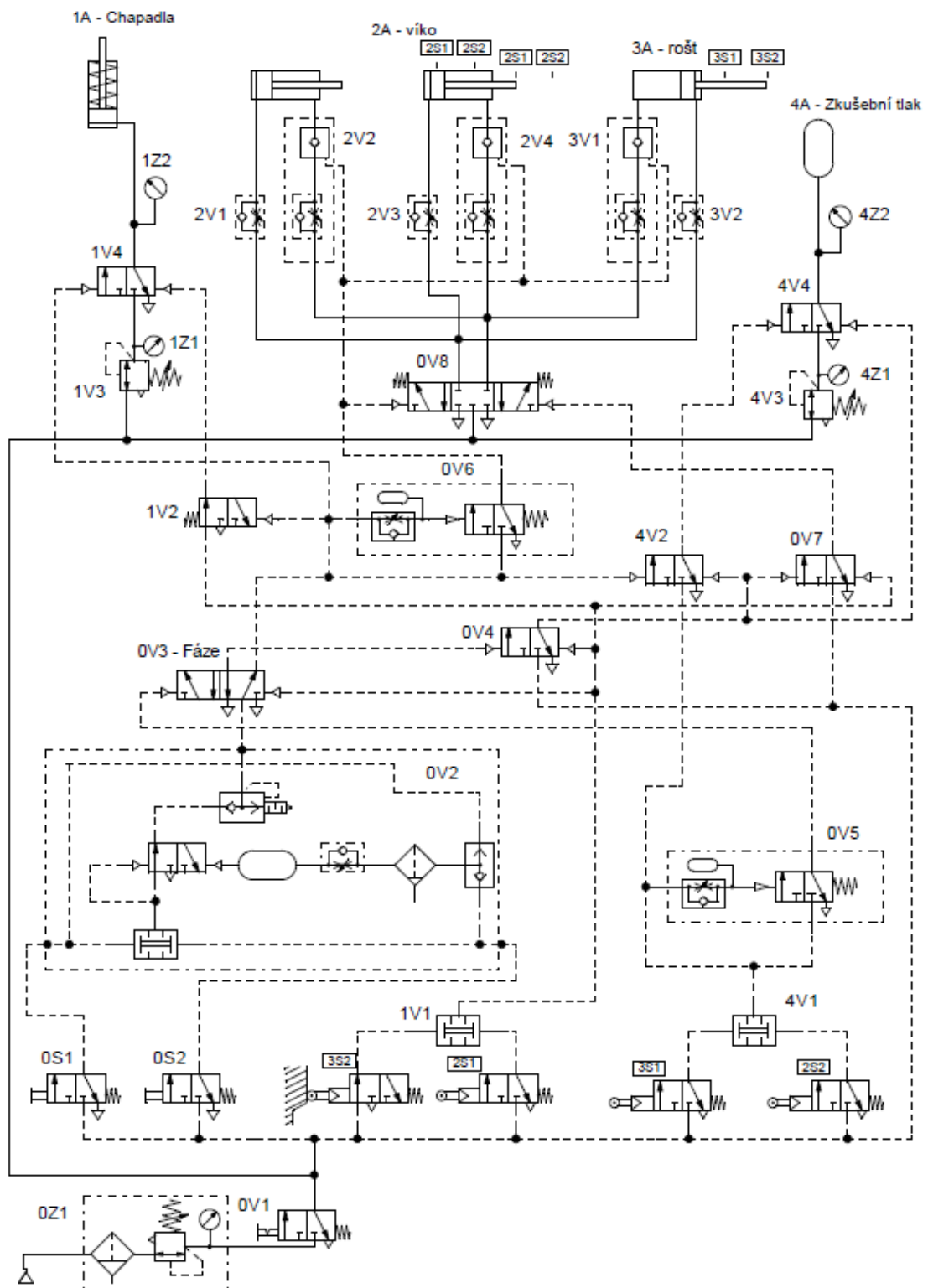
Obr. 4.3 Krokový diagram

Z vybraných dvou možností se jeví lepší provedení se třemi tlačítky. U dvoutlačítkového řešení je nutné použít jeden rozváděč a jedno časové relé navíc, což se negativně projeví na celkové ceně. Třetí tlačítko 0S3 v první variantě také umožňuje vrátit systém kdykoliv do výchozí polohy. Toho lze využít například v situaci, kdy by se obsluha v polovině zavírání rozhodla vanu opětovně otevřít, např. při zjištění chybného zatěsnění zkoušeného prvku. Při dvoutlačítkovém řešení toto není možné, vana by se musela celá zavřít, vyčkat až se aktivuje druhá fáze a následně otevřít.

Z praktického, bezpečnostního i finančního hlediska tedy vychází lépe varianta se třemi tlačítky, která bude dále detailně rozpracována.



Obr. 4.4 Pneumatický obvod



Obr. 4.5 Pneumatický obvod – dvoutlačítkové řešení

4.3 Podrobný popis zvoleného pneumatického obvodu

Cyklus začíná současným stlačením tlačítek 0S1 a 0S2. Přes blok obouručního ovládání 0V2 se dostane tlak na levou stranu rozváděče 1V4 a na pravou stranu rozváděče 1V2. Ten se uzavře a umožní přestavení rozváděče 1V4 do průchozí polohy a natlakování chapadel. Součást je tedy utěsněná a může započít zavírání víka a spouštění roštu pod hladinu. Časové relé 0V3 zpožďuje tlakový signál procházející z bloku obouručního ovládání 0V2 na levou stranu rozváděče 0V5 a na řízené jednosměrné ventily, aby se stihly chapadla natlakovat. Rozváděč se přestaví, řízené jednosměrné ventily se otevrou. Víko se začne zavírat a rošt sjíždět pod hladinu. Rychlost otevírání víka se nastavuje na škrticích ventilech 2V1, 2V3. Rychlost zavírání víka se nastavuje na blocích škrticího a řízeného jednosměrného ventilu 2V2, 2V4. Rošt pomocí ventilů 3V1 a 3V2.

Pokud by obsluha přestala držet jedno nebo obě tlačítka, přerušil by se tlakový signál, rozváděč 0V5 by se přestavil do základní uzavřené polohy a řízené jednosměrné ventily by zajistily víko a rošt v současné poloze.

Po zavření víka a spuštění roštu se aktivují koncové spínače 2S2 a 3S1. Přes logický ventil AND 4V1 je přiveden tlak do rozváděče 4V2. Ten se hned na začátku cyklu po stisknutí tlačítek 0S1 a 0S2 přestavil do otevřené polohy. Pneumatický signál je přiveden na levou stranu rozváděče 4V4, ten se přestaví a zkoušený prvek se natlakuje zkušebním tlakem. Tlak na chapadlech je možné nastavit na redukčním ventilu 1V3. Zkušební tlak redukčním ventilem 4V3.

Po ukončení zkoušky je zmáčknuto tlačítko 0S3, které přivede tlakový signál na pravou stranu rozváděčů 4V2 a 4V4 a tím se zkoušený prvek odtlakuje. Dále přestaví rozváděč 0V4 a tlak se přes něho dostane na pravou stranu hlavního rozváděče 0V5. Víko se otevře a rošt vyjede nad hladinu. Po dojetí do koncové polohy se aktivují koncové spínače 3S2 a 2S1. Přes logický ventil AND 1V1 a rozváděč 1V2 je přiveden tlak na pravou stranu rozváděče 1V4 a chapadla se odtlakuji.

4.4 Alternativní možnosti

Při návrhu pneumatického obvodu bylo zvažováno několik možností alternativního provedení. První z nich je použití rychloodvzdušňovacího ventilu ve větvi zkušebního tlaku. Nakonec nebyl použit, neboť otevírání a zavírání víka trvá přibližně 6-10 sekund a za tuto dobu se stihne přetlak ze zkoušeného prvku bez problémů dostat ven i bez použití rychloodvzdušňovacího ventilu.

Jak již bylo zmíněno na začátku třetí kapitoly, jsou rozměry vany navrženy tak, aby mohly být zkoušeny dva výměníky vedle sebe. V takovém případě je nutné rozdělit přívod tlaku do chapadel.

V další variantě řešení bylo použito další tlakové relé místo rozváděče 1V2. Časové relé by bylo normálně otevřené a zkracovalo by dobu trvání signálu z koncových snímačů 3S2, 2S1 na pravou stranu rozváděče 1V4. Tato varianta nebyla použita z finančního hlediska, protože časové relé je podstatně dražší než obyčejný 3/2 rozváděč.

Celkovou cenu by bylo možné snížit úplným odstraněním časového relé 0V3. Funkci obvodu by to nemělo ohrozit, protože měchová chapadla se natlakují za méně než jednu sekundu. Během této doby by se však nesměl rošt ponořit pod hladinu.

Pokud by byl zajištěn synchronizovaný chod pneumatických válců, které zavírají víko a válce, který zvedá rošt, bylo by možné použít pouze jediný koncový spínač. Obvod by se tak zjednodušil. Pokud by se ale porušila synchronizace, mohl by se zkoušený prvek natlakovat dříve, než by bylo zavřeno víko a mohlo by tak vzniknout bezpečnostní riziko. Z toho důvodu byla použita varianta s více koncovými spínači.

Poslední alternativa je zapojení dalšího jednosměrného škrticího ventilu pro otevírání víka. Fungoval by na principu škrcení na vstupu. Ventil by škrtil méně než další dva škrticí ventily. Jeho funkce by spočívala v zamezení rychlého poskočení víka směrem nahoru po překonání kritického okamžiku po startu, kdy je nutná větší síla k překonání odporů než při následném zavírání. Škrcení na vstupu má totiž rychlejší reakci, než škrcení na výstupu. O případném zapojení do obvodu bude rozhodnuto po praktické zkoušce. Pokud by víko příliš nezrychlilo, nebylo nutné další škrticí ventil zapojovat.

5 Volba prvků

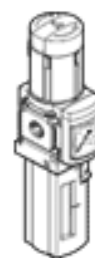
V následujících podkapitolách jsou popsány zvolené pneumatické prvky a uvedeny některé jejich důležité parametry. Všechny zvolené pneumatické prvky jsou od firmy Festo.

5.1 Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu

Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu MS4-LFR-1/8-D6-C-R-M-AS [16] obsahuje redukční ventil, filtr a plastovou nádobku s manuálním odpouštěním kondenzátu.

Parametry:

- normální jmenovitý průtok $900 dm^3 \cdot min^{-1}$
- připojení pneumatiky G1/8
- jmenovitá světlost $4 mm$
- provozní tlak $0,03 - 0,7 MPa$
- stupeň filtrace $5 \mu m$

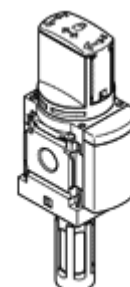


Obr. 5.1 Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu

Za jednotkou pro úpravu stlačeného vzduchu následuje spouštěcí ventil s aretací MS4-EM1-1/8-S [16].

Parametry:

- normální jmenovitý průtok $1200 dm^3 \cdot min^{-1}$
- připojení pneumatiky G1/8
- jmenovitá světlost $4 mm$
- provozní tlak $0 - 1,4 MPa$



Obr. 5.2. Spouštěcí ventil

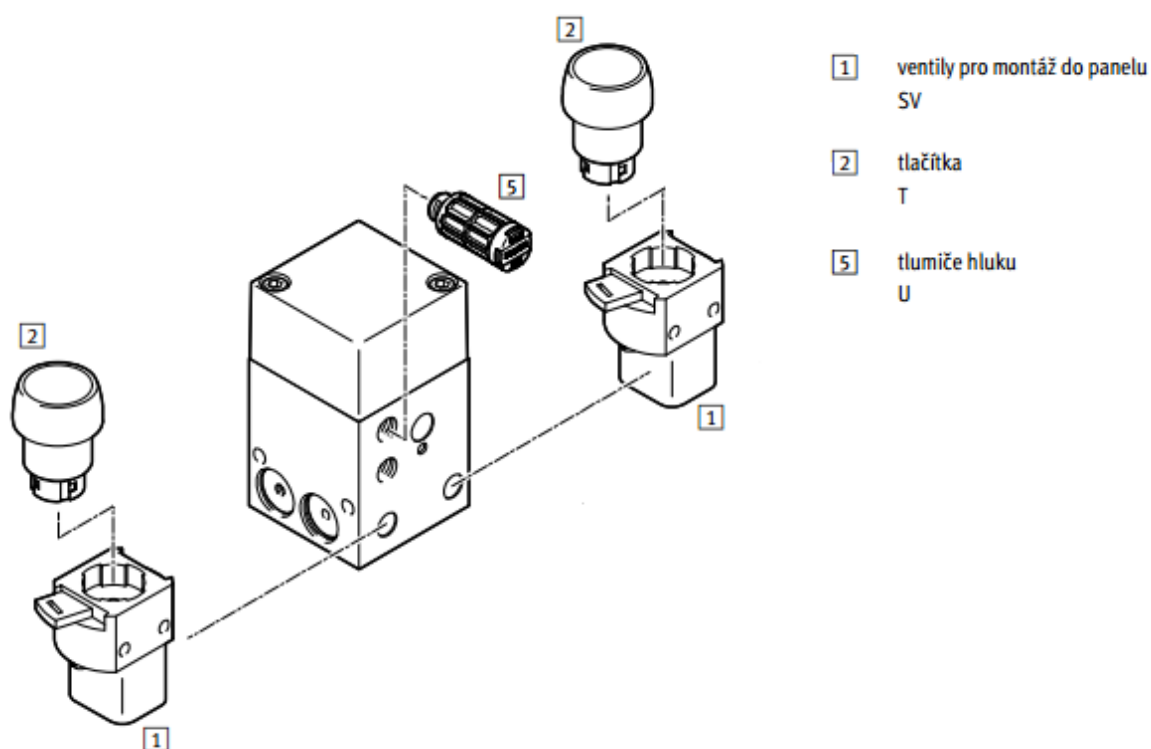
5.2 Blok obouručního ovládání ZSB

Blok obouručního ovládání [18] je nutné použít tehdy, pokud je obsluha vystavena nebezpečí při ruční manipulaci. Blok ZSB sepne jen tehdy, když jsou současně, v rozmezí max. 0,5 sekund zmáčkuta obě tlačítka. Uvolněním jednoho nebo obou tlačítek se průtok okamžitě přeruší.

Parametry:

- normální jmenovitý průtok $50\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
- připojení pneumatiky G1/8
- jmenovitá světlost 4mm
- provozní tlak $0,4 - 0,8\text{MPa}$

Společně s blokem obouručního ovládání je nutné použít ventily pro montáž do panelu SV-3-M5 a do nich tlačítka T-30-RT. Uspořádání prvků je vidět na obrázku 5.3. Tlačítka se nachází na bočních stranách ovládacího panelu širokého 300mm. Toto rozložení splňuje bezpečnostní normu ČSN EN 574+A1.



Obr. 5.3 Blok obouručního ovládání

5.3 Rozváděče

V pneumatickém obvodu se nachází 6 rozváděčů. Jedná se o jeden 5/3 rozváděč řízený pneumaticky, základní poloha vymezena pružinami. Jeden 3/2 v základní poloze otevřený monostabilní rozváděč ovládaný pneumaticky, základní poloha vymezena pružinou. A čtyři 3/2 bistabilní rozváděče ovládané pneumaticky. V katalogu [19] nejsou žádné 3/2 pneumaticky ovládané ventily, proto byly zvoleny 5/2 ventily a jeden pracovní výstup bude zatěsněn.

Pneumaticky ovládaný 5/3 rozváděč VUWG-L10A-P53C-M-M5-U

Parametry:

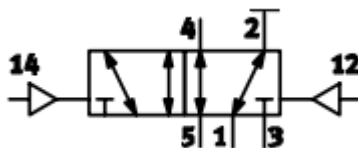
- normální jmenovitý průtok $210 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
- připojení pneumatiky M5
- provozní tlak $0,09 - 0,8 \text{ MPa}$



Obr. 5.4 Ventil VUVG

Bistabilní pneumaticky ovládaný 5/2 rozváděč VUWG-L10A-B52-M5-U

Pracovní výstup 2 je zatěsněn, aby ventil plnil funkci bistabilního, pneumaticky ovládaného 3/2 rozváděče.



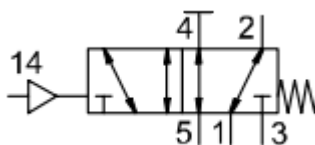
Obr. 5.5 Vytvoření bistabilního 3/2 rozváděče

Parametry:

- normální jmenovitý průtok $220 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
- připojení pneumatiky M5
- provozní tlak $0,09 - 1 \text{ MPa}$

Monostabilní pneumaticky ovládaný 5/2 rozváděč VUWG-L10A-M52-M-M5-U

Podobně jako u předchozího rozváděče je výstup 4 zatěsněn, aby ventil plnil funkci 3/2 NO rozváděče.



Obr. 5.6 Vytvoření monostabilního NO 3/2 rozváděče

Parametry:

- normální jmenovitý průtok $190dm^3 \cdot min^{-1}$
- připojení pneumatiky M5
- provozní tlak $0,09 - 0,8MPa$

5.4 Škrticí ventily

Jednosměrný škrticí ventil CRGRLA-1/8-B [20]

Jednosměrný škrticí ventil je použit k regulaci rychlosti při zvedání víka nebo celého roštu. Jednosměrný škrticí ventil je montován přímo do závitu pneumatického válce, musí se tedy shodovat jejich pneumatická připojení.

Parametry:

- normální jmenovitý průtok $260dm^3 \cdot min^{-1}$
- připojení pneumatiky G1/8
- provozní tlak $0,03 - 1MPa$



Obr. 5.7 Ventil CRGRLA

Jednosměrný škrticí ventil + řízený jednosměrný ventil GRXA-HG-1/8-QS-4 [20]

Řízený jednosměrný ventil je potřeba použít na straně pneumatického válce, kde by se píst v klidové poloze vlivem gravitace posouval dolů. Stejně jako jednosměrný škrticí ventil se i blok řízeného jednosměrného ventilu a škrticího ventilu montuje přímo do závitu pneumatického válce.

Parametry:

- normální jmenovitý průtok $140dm^3 \cdot min^{-1}$
- připojení pneumatiky 1 G1/8
- připojení pneumatiky 2 QS-6
- provozní tlak $0,05 - 1MPa$



Obr. 5.8 Ventil GRXA

5.5 Pneumatické válce

Jak již bylo zmíněno výše, byly zvoleny dva pneumatické válce ADN-32-40-A-P-A a jeden ADN-32-170-A-P-A [13]. Válce se liší pouze v délce zdvihu, není proto nutné rozepisovat jejich vlastnosti odděleně.

Parametry:

- závit na pístnici M10x1,25
- připojení pneumatiky G1/8
- provozní tlak 0,06 – 1MPa

Připojení pneumatiky se shoduje s připojením u ventilů CRGRLA i GRXA. Je tedy možné ventily přimontovat přímo na pneumatický válec.



Obr. 5.9 Pneumatické válce ADN

5.6 Ostatní pneumatické prvky

Šroubení s nástrčnými koncovkami QS-G1/8-6

Parametry:

- tvar přímý tvar
- připojení pneumatiky 1 G1/8
- připojení pneumatiky 2 nástrčné připojení 6mm

Šroubení s nástrčnými koncovkami QSM-M5-6

Parametry:

- tvar přímý tvar
- připojení pneumatiky 1 M5
- připojení pneumatiky 2 nástrčné připojení 6mm

Pro spojování většiny prvků je použita hadice PUN-6X1-SW o vnitřním průměru 4mm. Normální jmenovitý průtok hadice délky 1m $Q_{N_had} = 500 dm^3 \cdot min^{-1}$. Pro napájení měchových chapadel a těsnicího tlaku je použita spirálovitá dvojité hadice PUN-6X1-S-1-DUO-BS. Tato hadice je zakončena rychlospojkou, aby bylo možné jednoduše vyměnit měchová chapadla, pokud bude zapotřebí jiná velikost.

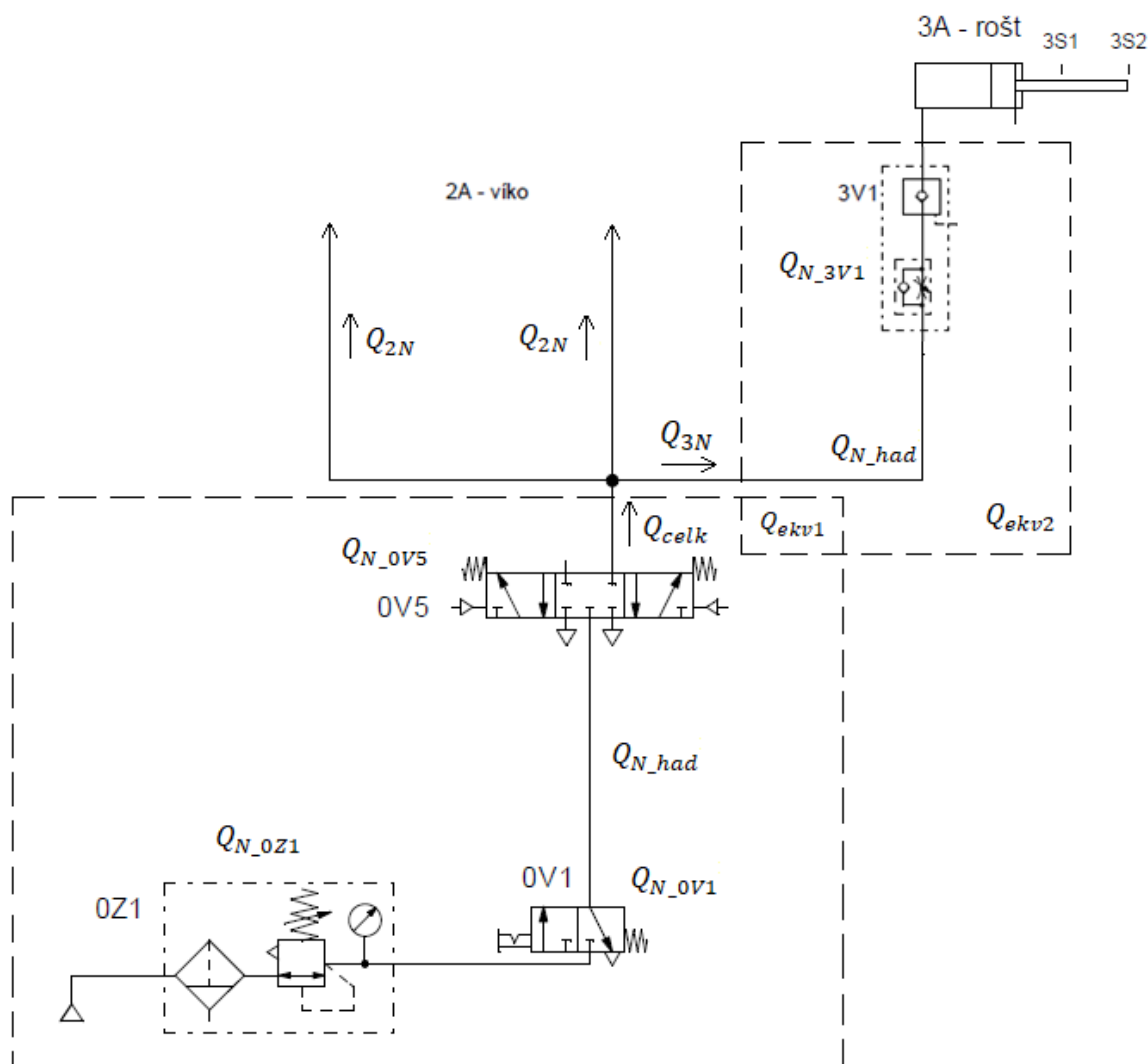
Kromě již zmíněných prvků se v obvodu nachází i další, které jsou zaznamenány v souhrnné tabulce 5.1. Měchová chapadla byla popsána výše v kapitole 3.4. Umístění prvků v obvodu je detailně rozpracováno na přiloženém výkrese – Příloha A.

Označení	Název	Katalogové označení	Odkazy	KS
0Z1	Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu	MS4-LFR-1/8-D6-C-R-M-AS	[16]	1
0V1	Spouštěcí ventil - 3/2 NC rozváděč s aretací	MS4-EM1-1/8-S	[16]	1
0V2	Blok obouručního ovládání	ZSB-1/8-B	[18]	1
0S1; 0S2; 0S3	3/2 NC rozváděč řízený tlačítkem Ovládání – 2x červené tlačítko, 1x černé tlačítko	SV-3-M5 T-30-RT T-30-SW	[18]	3 2 1
3S2; 2S1; 3S1; 2S2	3/2 NC rozváděč ovládaný kladkou	VMEM-DT-M32C-M-G18	[21]	4
1V1; 4V1	Logický ventil AND	ZK-1/8-B	[22]	2
1V2	5/2 monostabilní rozváděč ovládaný pneumaticky	VUWG-L10A-M52-M-M5-U	[19]	1
1V3; 4V3	Redukční ventil	MS4-LR-1/8-D6-A8	[16]	2
1V4; 0V4; 4V2; 4V4	5/2 bistabilní rozváděč ovládaný pneumaticky	VUWG-L10A-B52-M5-U	[19]	4
0V3	Časové relé, NC zpoždění sepnutí	VZA-3-1/4	[17]	1
0V5	5/3 rozváděč řízený pneumaticky, základní polohy vymezena pružinami	VUWG-L10A-P53C-M-M5-U	[19]	1
2V2; 2V4; 3V1	Blok řízeného jednosměrného ventilu a jednosměrného škrťacího ventilu	GRXA-HG-1/8-QS-4	[20]	3
2V1; 2V3; 3V2	Jednosměrný škrťací ventil	CRGRLA-1/8-B	[20]	3
1Z1; 4Z1; 1Z2; 4Z2	Manometr	MA-40-10-1/8 MA-27-10-M5	[23]	2 2
1A	Měchová chapadla	DHEB 27 E U E L DHEB 33 E U E L DHEB 41 E U E L DHEB 51 E U E L	[11]	2 2 2 2
2A	Pneumatický válec	ADN-32-40-A-P-A	[13]	2
3A	Pneumatický válec	ADN-32-170-A-P-A	[13]	1
	Šroubení	QS-G1/8-6 QS-G1/4-6 QSM-M5-6	[25]	26 2 32
	T-kus X-kus	QSMT-6 QSMX-6	[25]	18 4
	Záslepka	B-M5	[26]	5
	Rychlospojka	KD3-CK-6; KS3-CK-6	[27]	2 2
-	Hadice	PUN-6X1-S-1-DUO-BS PUN-6X1-SW	[28]	4x1m 1x50m

Tab. 5.1 Volba prvků

5.7 Kontrola propustnosti

Při kontrole propustnosti je potřeba vypočítat ekvivalentní průtok ve společné části obvodu a porovnat ho s celkovým průtokem. Nad rozváděčem 0V5 se průtok větví. Postup je potřeba zopakovat pro ekvivalentní průtok Q_{ekv2} a porovnat ho s průtokem do největšího válce. Na obrázku 5.10 je znázorněn zjednodušený obvod pro kontrolu propustnosti.



Obr. 5.10 Schéma pro kontrolu propustnosti

Při výpočtu kontroly propustnosti počítáme s nejkratším možným časem $\tau=6s$. Průtok Q_2 do jednoho válce 2A, který zvedá víko:

$$Q_2 = \frac{S \cdot h_2}{\tau} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h_2}{4 \cdot \tau} = \frac{\pi \cdot 0,032^2 \cdot 0,04}{4 \cdot 6} = 5,36 \cdot 10^{-6} m^3 \cdot s^{-1} = 0,322 dm^3 \cdot min^{-1} \quad (9)$$

Průtok Q_3 do válce 3A, který zvedá rošt:

$$Q_3 = \frac{S \cdot h_3}{\tau} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h_3}{4 \cdot \tau} = \frac{\pi \cdot 0,032^2 \cdot 0,17}{4 \cdot 6} = 2,28 \cdot 10^{-5} m^3 \cdot s^{-1} = 1,37 dm^3 \cdot min^{-1} \quad (10)$$

Kde d je průměr pneumomotorů a h je zdvih pneumomotorů.

Průtoky Q_2 a Q_3 je nutné přepočítat na normální podmínky. Pracovní tlak $p=0,6MPa$. Absolutní tlak $p_{abs} = p + p_N = 0,6 + 0,1 = 0,7MPa$.

Normální průtok do válce 2A se pak vypočte:

$$Q_{2N} = Q_2 \cdot \frac{p_{abs}}{p_N} = 0,322 \cdot \frac{7}{1} = 2,25 dm^3 \cdot min^{-1} \quad (11)$$

Normální průtok do válce 3A

$$Q_{3N} = Q_3 \cdot \frac{p_{abs}}{p_N} = 1,367 \cdot \frac{7}{1} = 9,57 dm^3 \cdot min^{-1} \quad (12)$$

Přes rozváděč 0V5 musí protéct celkový průtok Q_{celk} :

$$Q_{celk} = 2 \cdot Q_{2N} + Q_{3N} = 2 \cdot 2,25 + 9,57 = 14,08 dm^3 \cdot min^{-1} \quad (13)$$

Z normálních jmenovitých průtoků se vypočte ekvivalentní průtok Q_{ekv1} :

$$Q_{ekv1} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{Q_{N_{0Z1}}^2} + \frac{1}{Q_{N_{0V1}}^2} + \frac{1}{Q_{N_{had}}^2} + \frac{1}{Q_{N_{0V5}}^2}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{900^2} + \frac{1}{1200^2} + \frac{1}{500^2} + \frac{1}{210^2}}} = 187 dm^3 \cdot min^{-1} \quad (14)$$

Ekvivalentní průtok Q_{ekv1} musí být vyšší než celkový průtok přes rozváděč 0V5:

$$Q_{ekv1} > Q_{celk} \\ 187 dm^3 \cdot min^{-1} > 14,08 dm^3 \cdot min^{-1} \quad (15)$$

Podmínka je splněna.

Za rozváděčem 0V5 se průtok větví na tři části. V každé z nich se nachází stejné prvky. Vypočte se ekvivalentní průtok Q_{ekv2} a porovná se s normálním průtokem do válce 3A.

$$Q_{ekv2} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{Q_{ekv1}^2} + \frac{1}{Q_{N_{3V1}}^2} + \frac{1}{Q_{N_{had}}^2}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{187^2} + \frac{1}{140^2} + \frac{1}{500^2}}} =$$

$$= 109 dm^3 \cdot min^{-1} \quad (16)$$

Opět musí být splněna podmínka

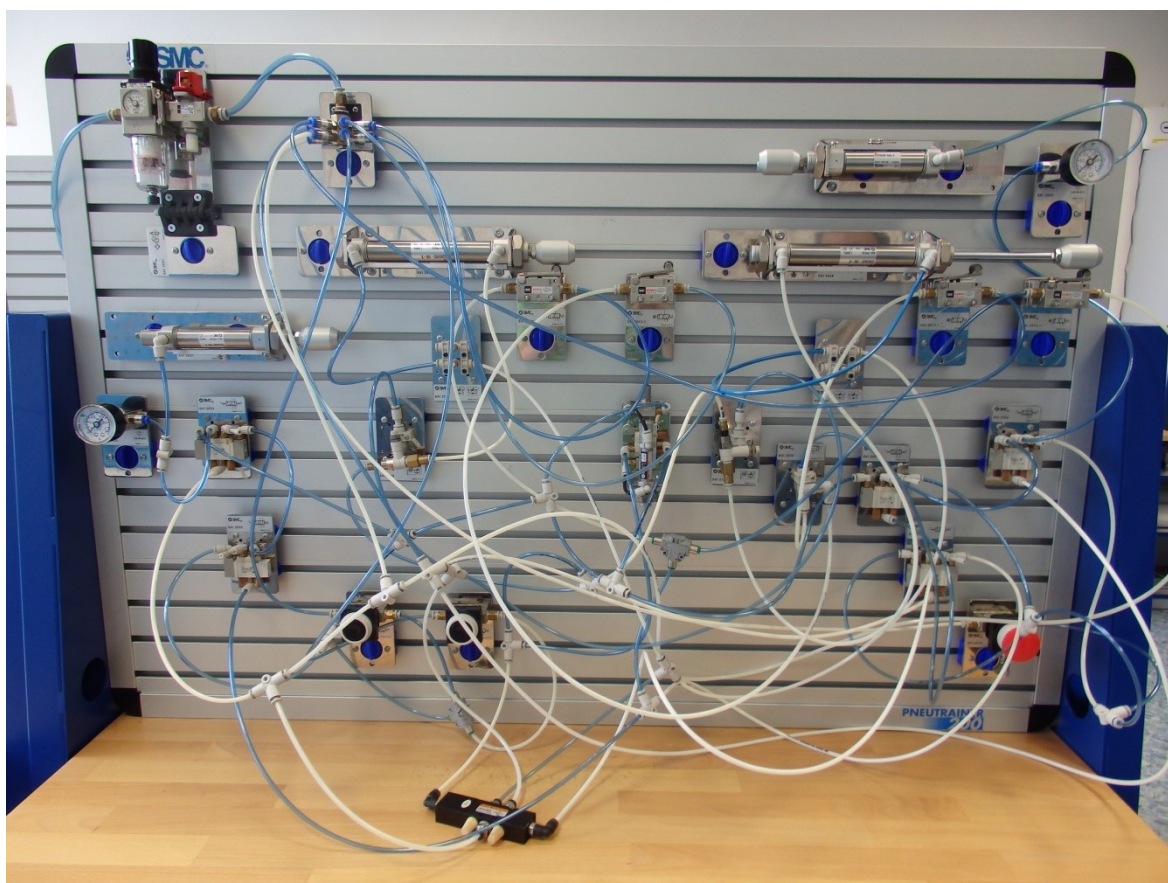
$$Q_{ekv2} > Q_{3N}$$

$$109 dm^3 \cdot min^{-1} > 9,57 dm^3 \cdot min^{-1} \quad (17)$$

Podmínka je splněna. Do ostatních válců je zapotřebí ještě menší průtok a není ho proto nutné kontrolovat.

6. Praktické ověření funkce obvodu

Zvolená varianta pneumatického obvodu byla sestavena v pneumatické laboratoři Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Z důvodu nedostatku prvků byl obvod lehce pozměněn. Místo chapadel byl použit jednočinný pneumomotor. Zkušební tlak byl přiveden do dalšího jednočinného pneumomotoru. A před žádným z těchto prvků se nenacházel redukční ventil. Poslední rozdíl byl na pozici 0V2, kde se místo bloku obouručního ovládání nacházel obyčejný logický ventil AND. Na ověření funkčnosti obvodu však tyto změny neměly vliv. Fotografie sestaveného pneumatického obvodu se nachází na obrázku 6.1.



Obr. 6.1 Sestavený pneumatický obvod

7. Manuál pro obsluhu

Manuál obsahuje návod k obsluze, bezpečnostní pokyny a informace o údržbě stroje. Neuvádějte zařízení do provozu, pokud jste nepřečetli celý manuál pro obsluhu, nebo v případě, že jste neporozuměli postupu!

7.1 Návod k obsluze

Při zkoušení prvků postupujte dle následujících kroků:

- 1) Uved'te systém do provozu spuštěním ventilu 0V1, který se nachází na levé straně řídicí skříně.
- 2) Zkontrolujte pracovní tlak $0,6\text{MPa}$ na jednotce pro úpravu stlačeného vzduchu.
- 3) Nastavte zkušební tlak na žlutém manometru respektive redukčním ventilu na přední straně řídicí skříně.
- 4) Nastavte těsnicí tlak na růžovém manometru respektive redukčním ventilu na přední straně řídicí skříně.
- 5) Pokud je zařízení uzavřeno, stlačte černé tlačítko pro otevření.
- 6) Zvolte velikost měchových chapadel dle tabulky 7.1.

Velikost chapadel	Průměr vstupu do výměníku [mm]
27	30-35
33	35-43
41	43-54
51	55-65

Tab. 7.1 Volba měchových chapadel

- 7) Položte zkoušený prvek na rošt.
- 8) Pečlivě zastrčte měchová chapadla do otvorů ve zkoušeném prvku tak, aby se po nafouknutí opírala o osazení.
- 9) Současně zmáčkněte obě červená tlačítka na boční straně řídicího pultu a držte je, dokud se víko vany zcela nezavře. Na manometrech na vrchní straně řídicího panelu kontrolujte, že došlo k natlakování chapadel (tlak na růžovém manometru vzroste na $0,6\text{MPa}$) a po uzavření víka k natlakování zkoušeného prvku (žlutý manometr).
- 10) Pokud není dosaženo těsnicího tlaku, nebo pokud dojde k jakémukoliv jinému problému, uvolněte červená tlačítka. Pomocí černého tlačítka vrátíte systém do otevřené polohy.

- 11) Po uzavření víka uvolněte červená tlačítka a proveďte vizuální kontrolu zkoušených prvků přes plexisklo.
- 12) Po dokončení zkoušky otevřete vanu pomocí černého tlačítka (tlačítko není třeba držet po celou dobu otevírání).
- 13) Po otevření víka vyjměte měchová chapadla a zkoušený prvek
- 14) Po ukončení provozu zařízení vypněte přívod vzduchu pomocí modrého ventilu na levé straně řídicí skříně.

Pozn.: Pokud dojde k uvolnění jednoho nebo obou tlačítek ještě před rozjezdem pneumatických válců, dojde i k odvodu tlaku a systém se vrátí do výchozího stavu. Pokud dojde k uvolnění jednoho nebo obou tlačítek v průběhu zavírání, mechanismus se zastaví v aktuální poloze. Opětovným stlačením tlačítek pokračuje systém v zavírání. Při stlačení černého tlačítka dojde k vrácení systému do výchozího stavu.

7.2 Bezpečnostní pokyny

- Stroj smějí obsluhovat pouze pracovníci starší 18-ti let, duševně a tělesně způsobilí, prokazatelně proškolení a pověřeni obsluhou stroje.
- Systém obsahuje blok obouručního ovládání, které zamezuje zavírání víka pomocí jedné ruky a brání proti přivření druhé ruky. Tento prvek chrání pouze obsluhu. Obsluha musí sledovat, jestli se jiná osoba nenachází v nebezpečném prostoru a předejít případnému přivření končetiny uvolněním alespoň jednoho červeného tlačítka.
- Za žádných okolností se při otevírání víka nenaklánějte nad přístroj.
- Obsluha kontroluje dosažení těsnicího tlaku a odvodu tlaku zkušební tlaku. Manipulace se zkoušeným prvkem je povolena, jen pokud je zkušební i těsnicí tlak roven nule.
- Obsluha nemá právo zasahovat do zařízení, s výjimkou výměny měchových chapadel a nastavování těsnicího a zkušební tlaku.
- Jestliže se začne zařízení neobvykle silně chvět, vykazuje stoupající hlučnost či jiné příznaky, které nejsou při jeho činnosti obvyklé – vypněte stroj a zajistěte okamžitou kontrolu.
- Je zakázáno pracovat na stroji pod vlivem alkoholu, drog nebo léků, které mohou snižovat schopnost reakce a pozornost. Nepracujte nikdy se strojem, když se cítíte fyzicky nebo psychicky unaveni.

- Poškozený stroj nesmí být nikdy uveden do provozu.
- Zařízení je zakázáno používat pro jiné účely, než pro které bylo zkonstruováno.
- Zařízení nevyžaduje použití specifických pracovních pomůcek.

7.3 Údržba stroje

- Každý den je nutné provádět vypuštění kondenzátu.
- Výměnu filtrační vložky je třeba provádět přibližně 1x za rok.
- Jakékoliv servisní zásahy je oprávněna provádět pouze osoba k tomu pověřená zaměstnavatelem, a to pouze ve spodní poloze zařízení (při uzavřeném víku).
Systém je ve spodní poloze nutné odvětrávat pomocí spouštěcího ventilu 0V1.
Je zakázáno na zařízení provádět takové konstrukční úpravy a zásahy, které nebyly doporučeny a schváleny výrobcem zařízení, totéž platí o výměně náhradních dílů za jiný druh.
- Je třeba používat jen takové náhradní díly, které vyhovují stanoveným požadavkům výrobce.
- Neodborně prováděné opravy, jakož i použití nesprávných náhradních dílů má za následek ztrátu záruky na výrobek.
- Použití nesprávného náhradního dílu se považuje za zásah do konstrukce stroje, výrobce proto nepřebírá odpovědnost za takto pozměněnou konstrukci.

8. Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout lokalizační vanu pro kontrolu netěsností. V teoretické části byly popsány metody zkoušení těsnosti prvků. Z nich byla následně vybrána vhodná metoda pro zkoušení těsnosti tepelných výměníků.

V praktické části byla navržena konstrukce vany. Nejlepší varianta provedení byla vymodelována ve 3D CAD systému. Následovalo navržení pneumatického obvodu, jehož designování bylo závislé na hmotnostech pohyblivých částí vany. Byly uvedeny i některé další možnosti provedení pneumatického obvodu a bylo objasněno, proč se autor rozhodnul pro vybrané provedení pneumatického obvodu. V následující kapitole byly voleny prvky pneumatického obvodu a byla počítána propustnost.

Funkčnost pneumatického obvodu byla ověřena ve školní laboratoři, kde byl navržený obvod sestaven z dostupných prvků. Poslední kapitola byla věnována manuálu pro obsluhu. Bylo v ní detailně popsáno jak postupovat při zkoušení prvků pomocí lokalizační vany. Manuál dále obsahuje bezpečnostní pokyny a informace pro údržbu.

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Lukáši Dvořákovi, Ph.D., za cenné připomínky, odborné rady a čas strávený při konzultacích této diplomové práce.

Seznam použité literatury

- [1] VTech cool innovation. *Leak Detection Methods: A Comparative Study of Technologies and Techniques* Short version [online]. [cit. 08.3.2017]. Dostupné z: <http://cdn.thomasnet.com/ccp/20106502/32497.pdf>
- [2] *Leak Testing: Water submersal dunk tank for leak detection* [online]. [cit. 08.3.2017]. Dostupné z: <http://tqc.co.uk/leak-testing/leak-testing-water-submersal-techniques.php>
- [3] DIY plumbing air pressure leak test [online]. [cit. 08.3.2017]. Dostupné z: <http://www.oakdenecarpentry.co.uk/plumbing-dry-leak-test.html>
- [4] KOPÁČEK, Jaroslav. *Pneumatické mechanizmy, Díl I. Pneumatické prvky a systémy*. 1.vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1996, 267 s. ISBN 80-7078-306-0.
- [5] MARSHALL, Ron. *Finding and Fixing Leaks* [online]. [cit. 08.3.2017]. Dostupné z: <http://www.airbestpractices.com/system-assessments/leaks/finding-and-fixing-leaks>
- [6] GHAFARIAN, Mehdi. *Pressure and leak Testing* [online]. [cit. 08.3.2017]. Dostupné z: http://www.novinparsian.ir/CMS_UI/documents/leak%20test.pdf
- [7] FESTO. *Průtokoměry SFE...* [online]. [cit. 16.3.2017]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/SFE_CZ.PDF
- [8] Mini Mania [online]. [cit. 29.3.2017]. Dostupné z: <http://new.minimania.com/part/NMI7689/Heater-Core-Factory-Replacement---R50-52-53-Mini-Cooper--S>
- [9] Metal centrum. Nerez [online]. [cit. 29.3.2017]. Dostupné z: <http://www.metalcentrum.cz/sortiment/nerez/#calculator>
- [10] FESTO. *Měchová chapadla DHEB* [online]. [cit. 3.4.2017]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products__92342
- [11] FESTO. *Měchová chapadla DHEB* [online]. [cit. 3.4.2017]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DHEB_CZ.PDF
- [12] FESTO. *Válce s pístnicí* [online]. [cit. 6.4.2017]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_010200

- [13] FESTO. *Válce dle norem ADN/AEN, ISO 21287* [online]. [cit. 4.5.2017]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/ADN_CZ.PDF
- [14] MATIS industrial components. *AGC Jednoduché uzavřené provedení Compact* [online]. [cit. 4.5.2017]. Dostupné z: http://www.matis.cz/data/pdf/linearni_technika_kulickova_pouzdra_tyce/22.pdf
- [15] MATIS industrial components. *Vodicí tyče W/WV*. [online]. [cit. 9.5.2017]. Dostupné z: http://www.matis.cz/data/pdf/linearni_technika_kulickova_pouzdra_tyce/66.pdf
- [16] FESTO. *Redukční ventily s filtrem MS-LFR, řada MS*. [online]. [cit. 10.5.2017]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/MS-LFR_CZ.PDF
- [17] FESTO. *Pneumatisch betätigte Ventile*. [online]. [cit. 10.5.2017]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_de/PDF/DE/VZ_DE.PDF
- [18] FESTO. *Bloky dvouručního ovládání ZSB*. [online]. [cit. 10.5.2017]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/ZSB_CZ.PDF
- [19] FESTO. *Pneumaticky ovládané ventily VUWG*. [online]. [cit. 10.5.2017]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/VUWG-G_CZ.PDF
- [20] FESTO. *Jednosměrné škrticí ventily*. [online]. [cit. 10.5.2017]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/GRX-VFO_CZ.PDF
- [21] FESTO. *Ventily ovládané mechanicky*. [online]. [cit. 10.5.2017]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/VMEM_CZ.PDF
- [22] FESTO. *Kompaktní systém M5*. [online]. [cit. 10.5.2017]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/M5COMPACT_CZ.PDF
- [23] FESTO. *Manometry MA, DIN EN 837-1*. [online]. [cit. 10.5.2017]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/MA_CZ.PDF
- [24] Tlakinfo.cz. *Detekce netěsností v tlakových rozvodech* [online]. [cit. 11.5.2017]. Dostupné z: <http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1308>
- [25] FESTO. *Šroubení s nástrčnými koncovkami QS* [online]. [cit. 14.5.2017]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/QS_CZ.PDF

[26] FESTO. *Závitová šroubení* [online]. [cit. 14.5.2017]. Dostupné z:

https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/THREADED-FITTINGS_CZ.PDF

[27] FESTO. *Rychlospojky* [online]. [cit. 14.5.2017]. Dostupné z:

https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/QUICK-COUPPLINGS_CZ.PDF

[28] FESTO. *Hadice z plastu*. [online]. [cit. 14.5.2017]. Dostupné z:

https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/TUBES_CZ.PDF

Seznam příloh

- A Schéma pneumatického obvodu
- A-SP Schéma pneumatického obvodu – specifikace prvků
- B Lokalizační vana